



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Kemian ja materiaalitieteiden tiedekunta
Materiaali- ja kalliotekniikan koulutusohjelma

Kai Alfred Rönnerberg

**KIERRÄTYSLIKETOIMINTA
MINERAALITEKNOLOGIATOIMITTAJAN NÄKÖKULMASTA**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin
tutkintoa varten Espoossa 05.12.2008.

Valvoja

Kari Heiskanen
Professori Kari Heiskanen

Ohjaaja

Harri Lehto
DI Harri Lehto



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Kemian ja materiaalitieteiden tiedekunta
Tutkinto-ohjelma:
Materiaali- ja kallioteknikka

DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä Kai Alfred Rönnberg	
Diplomityön nimi Kierrätysliiketoiminta mineraaliteknologiatoimittajan näkökulmasta	
<p>Vähenevät luonnonvarat, kiihtyvä kulutus ja lyhentyneet tuote-elinkaaret ovat lisänneet tarvetta edistyksellisille ja tehokkaille kierrätysteknologiaratkaisuille. Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää ja löytää uusia liiketoimintamahdollisuuksia, joita mineraaliteknologiatoimittaja voisi hyödyntää kierrätysliiketoiminnassa. Diplomityö on jaettu kirjallisuus- ja markkinatutkimukseen sekä yhteisiin johtopäätöksiin.</p> <p>Työn kirjallisuusosassa käsitellään kierrätykseen liittyvät eri liiketoiminta-alueet ja niissä käytetyt kierrätysteknologiat. Liiketoiminta-alueista pyritään selvittämään materiaali- ja jätteen kierrätyksen prosessien toimintamalleja ja niissä käytettyjä teknologioita. Teknologiat kuvataan tarkemmin omassa luvussaan, pääpainopisteenä on mekaaninen kierrätystekniikka.</p> <p>Työn toisessa osiossa, markkinatutkimuksessa, haastateltiin useita alan asiantuntijoita ja heinäkuussa julkaistiin markkinakysely, jonka kohdemaat olivat Suomi, Ruotsi ja Saksa. Markkinatutkimuksen avulla haluttiin selvittää alan trendejä, kierrätysyritysten tarpeita ja haasteita, käytettyjä teknologioita, teknologiatoimittajan asemaa alalla ja kierrätysliiketoiminnan tulevaisuuden näkymiä. Lisäksi markkinatutkimuksessa käsitellään lyhyesti kierrätysteknologiemarkkinoiden kokoa Euroopassa ja ympäristödirektiivien vaikutusta liiketoimintaan.</p> <p>Työn johtopäätöksissä esitetään kirjallisuusosion ja markkinatutkimuksen perusteella yhtymäkohtia mineraali- ja kierrätystekniikassa, jonka lisäksi mainitaan markkinatutkimuksessa esille tulleita kehityskohteita.</p> <p>Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että kierrätysprosessien tehostamiselle on yhä enemmän tarvetta, kuin myös kysyntää. Alalla löytyy selvä tarve teknologiatoimittajalle, jolla on osaamista sekä mekaanisissa että hydro- ja pyrometallurgisissa menetelmissä.</p>	
Työn valvoja Prof. Kari Heiskanen	Työn ohjaaja DI Harri Lehto
Professuuri Mekaaninen prosessi- ja kierrätystekniikka	Koodi Mak-46
Sivumäärä 104	Kieli Suomi
Avainsanat kierrätys, mekaaniset kierrätysprosessit, kierrätysliiketoiminta, markkinatutkimus, kierrätysteknologiat	Päiväys 05.12.2008



**HELSINKI UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY**
**Faculty of Chemistry and Materials
Sciences**
**Degree Programme: Materials Science and Rock
Engineering**

ABSTRACT OF MASTER'S THESIS

Author Kai Alfred Rönnerberg	
Title of Thesis Recycling business from the point of view of a mineral technology provider	
Abstract <p>The depleting natural sources, growing consumption and shorter product life cycles are affecting the growing demand for more developed recycling solutions. The aim for this study is to find and demonstrate the opportunities that a mineral processing technology provider could have in recycling industry. This Master's Thesis is divided into literature research, market study and conclusion.</p> <p>The literature part of the study describes the most important business areas in mechanical recycling. Of the different business areas, material fractions, volumes, recycling process flowcharts and recycling technologies are presented. Different recycling technologies are presented more detailed in their own chapter, main focus is in mechanical recycling.</p> <p>The second part of the Master's Thesis is the market study that is carried out by interviewing several key persons who are operating in recycling business. In addition, a market survey that was targeted to Finland, Sweden and Germany, was released in July (2008). The goal for the market study is to find out trends in recycling business, recycling companies' needs and challenges, used technologies, technology providers' position and general expectations for the future. The market study also contains a short overview of the potential market size in Europe for recycling technologies and the impact of environmental directives on recycling business.</p> <p>In the conclusion, the similarities between recycling and mineral technology, and the potential development areas in recycling business identified by the market study, are presented.</p> <p>The study shows that in general the recycling business is a growing and technologically undeveloped industry. There is requirement and demand for more efficient recycling solutions. A technology provider that has know-how in mechanical, hydro- and pyrometallurgical processing could have much to give to the recycling industry.</p>	
Supervisor Professor Kari Heiskanen	Instructor Harri Lehto, M.Sc.(Tech)
Chair Mechanical Process- and Recycling Technology	Chair code Mak-46
Pages 104	Language Finnish
Keywords recycling business, market study, mechanical recycling, recycling industry, recycling technologies	Date 05.12.2008

ALKUSANAT

Haluan kiittää Outotec Minerals Oy:tä mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta tutkimusaiheesta sekä taloudellisesta tuesta. Koko yrityksen väkeä kiitän minua kohdanneesta ystävällisestä ja moninaisesta avusta.

Kiitos työni ohjaajalle Harri Lehdolle työtäni kohtaan osoittamastaan mielenkiinnosta ja avusta. Samat kiitokset haluan esittää myös työni valvojalle prof. Kari Heiskaselle ja esimiehelleni Kari Saloheimolle.

Kiitokset diplomityötä varten haastattelemilleni henkilöille ja kaikille, jotka uhrasivat aikaansa työtäni varten.

Maria, perhettäni ja ystäviäni haluan lämpimästi kiittää kannustuksesta ja tuesta työtäni kohtaan.

Espoossa 05.12.2008

Kai Alfred Rönnerberg

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tavoitteet	6
1.2	Rajaukset	7
2	TUTKIMUSMENETELMÄT	8
2.1	Tutkimuksen suorittaminen.....	10
3	LIIKETOIMINTA-ALUEET	11
3.1	Metallit	11
3.1.1	Raaka-aine.....	13
3.1.2	Toimintamalli.....	14
3.1.3	Kierrätystuotteen markkinat.....	15
3.1.4	Autojen kierrätys.....	16
3.2	Sähkö- ja elektroniikkaromu	19
3.2.1	Tuoteryhmät ja materiaalit	20
3.2.2	Toimintamalli.....	22
3.3	Yhdyskuntajäte	25
3.3.1	Lajittelumenetelmät	27
3.3.2	Kierrätyspolttoaineet.....	29
3.4	Rakennus- ja purkujäte.....	31
3.4.1	Toimintamalli.....	32
3.5	Paperi & pahvi	34
3.6	Lasi	36
3.6.1	Toimintamalli.....	37
3.7	Muovit	39
3.7.1	Toimintamalli.....	40
4	LAITTEET JA MENETELMÄT	43
4.1	Esikäsittelytekniikat.....	43
4.2	Hienonnustekniikat	45
4.2.1	Murskaimet ja shredderit.....	46
4.2.2	Jauhatus	47
4.3	Erotustekniikat.....	49

4.3.1	Luokittimet.....	49
4.3.2	Seulonta.....	50
4.3.3	Magneettisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät.....	51
4.3.4	Sähkönjohtavuuteen ja sähköisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät.....	54
4.3.5	Ominaispainoeroihin perustuvat menetelmät.....	57
4.3.6	Vaahdotus.....	59
4.3.7	Poiminta	61
4.3.8	Materiaalin rakenneanalyysiin perustuvat menetelmät.....	63
4.4	Biologinen käsittely	64
4.5	Jätteen polttotekniikat.....	64
4.5.1	Arinapoltto	65
4.5.2	Leijukerrospoltto	65
4.5.3	Pyrolyysi	66
5	MARKKINATUTKIMUS.....	67
5.1	Kierrätysmarkkinat.....	68
5.1.1	Markkinoiden koko	68
5.1.2	Ympäristödirektiivit.....	69
5.2	Merkittävimmät toimijat Euroopassa.....	71
5.2.1	Teknologiatoimittajat	71
5.3	Jättemäärät ja käsittelymenetelmät EU-alueella	73
5.3.1	Suomi	74
5.4	Haastattelut ja markkinakysely.....	76
5.4.1	Globaalit megatrendit.....	76
5.4.2	Nykytrendit ja -liiketoiminta kierrätyksessä	77
5.4.3	Teknologiat ja prosessit.....	78
5.4.4	Teknologiatoimittajat	80
5.4.5	Tulevaisuus	81
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	84
6.1	Outotec Mineralsin yhtymäkohdat kierrätysteknologiassa	84
6.1.1	Ominaispainoerotus	85
6.1.2	Magneettinen erotus.....	86
6.1.3	Elektrostaattinen erotus.....	86
6.2	Kehityskohteet.....	87
6.2.1	Automaattinen poiminta.....	87
6.2.2	Jalometallien talteenotto.....	87
6.2.3	Landfill mining	88
6.2.4	Muovit.....	89
6.2.5	Online-laadunvalvonta	90
6.2.6	Polttotekniikat	90

6.2.7	Sähkö- ja elektroniikkaromu	91
6.2.8	Yhdyskuntajätteet.....	91
7	YHTEENVETO	94
	LÄHDELUETTELO.....	96

KÄSITTEET

ASR (*Auto Shredder residue*). Romuauton prosessoinnista syntyvä kevyt fraktio.

Biohajoava jäte (*Biodegradable waste*). Jäte, joka voidaan hajottaa biologisesti aerobisesti tai anaerobisesti.

Biojäte (*Biowaste*). Elintarvike-, ruoka- ja puutarhajäte, joka voidaan hajottaa biologisesti aerobisesti tai anaerobisesti.

Energiasisällön hyödyntäminen (*energy recovery*). Jätteen poltto yksin tai yhdessä muun materiaalin kanssa tarkoituksena tuottaa energiaa ottamalla talteen polttoprosessissa vapautuva energia.

Ei-rautametalli (*non-ferrous metal*). Muut käyttömetallit paitsi rauta ja teräs.

ELV-auto (*End of life vehicle*). Esikäsitelty autonromu, joka on valmis prosessoitavaksi.

Jäte (*waste*). Jätelain mukaan aine tai esine, jonka sen haltija poistaa, aikoo poistaa tai on velvollinen poistamaan käytöstä.

Kiertoromu (*prompt scrap*). Metallien valmistuksen yksiköiden sellainen romu, joka ei ole päätynyt valmiiksi tuotteeksi saakka.

Loppusijoitus (*disposal*). Jätteen loppusijoittamista kaatopaikalle jätedirektiivin mukaisesti.

Lopputuote (*end product*). Tuote, joka ei vaadi lisäprosessointia ennen käyttöä.

Malmi (*ore*). Luonnossa, lähinnä kallioperässä oleva mineraaliesiintymä, jossa on arvometalleja niin paljon ja sellaisessa muodossa, että sitä voidaan taloudellisesti kannattavasti louhia, rikastaa ja kuljettaa käytettäväksi metallien valmistukseen. Kaivosteollisuudessa käsitteeseen malmi sisällytetään mitkä tahansa mineraalit, joita kannattaa louhia kivistä (so. ei pelkästään metallit). (Vrt. rikaste).

Prosessiromu. Tuotantotoiminnasta syntynyt romu.

Puhtaaksijauhat (*liberation*). Puhtaina rakeina esiintyvän mineraalin prosenttiosuutta saman mineraalin kokonaismäärästä.

Pääomaromu. Kulutus- ja investointitarvaroiden hylkäämisestä syntyvä romu.

RDF (*refuse derived fuel*). Lajittelemattomasta yhdyskuntajätteestä mekaanisella käsittelyprosessilla valmistettu polttoaine.

REF (recovered fuel). Teollisuuden, yritysten, kaupan ja kotitalouksien polttokelpoisista kiinteistä ja syntypaikalla lajitelluista kuivajätteistä ja energiajätteistä mekaanisella käsittelyprosessilla valmistettu polttoaine.

Rikaste (*concentrate*) [malmirikaste, ore concentrate]. Malmin arvoaineet sisältävä tuote, joka on aikaansaatu rikastamalla eli erottamalla malmin arvomineraalit arvottomasta osasta, jätteestä; rikaste on yleensä jauhemaista, koska mineraalirakeiden erottamiseksi toisistaan malmi on murskattava ja jauhettava hienojakoiseksi.

Romu (*scrap*). Metalleja sisältävä käytöstä poistettu/poistettava kappale, laite tai rakennelma, jonka sisältämät metallit soveltuvat teollisuuden raaka-aineeksi.

Ruostumaton teräs (*stainless steel*). Ruostumattomat teräkset, käsitteenä epämääräinen, mutta yleisesti käytetty runsasseosteisten rautapohjaisten kromi- ja kromi-nikkelseosteisten metalliseosten yhteisnimitys; viittaa korkeasta kromipitoisuudesta johtuvaan hyvään korroosionkestävyyteen, joka on näille seoksille yhteinen tyypillinen ominaisuus.

Sekundäärituote (*secondary product*). Tuote, joka on valmistettu kierrätetystä materiaalista. Huom! Sekundääri ja primääri eivät viittaa laatuun, eivät peräkkäisiin prosessivaiheisiin eivätkä eroihin jalostusasteissa.

SE-laite (*E/E*). Sähkö- ja elektroniikkalaite.

SER (*WEEE*). Sähkö- ja elektroniikkalaitteista syntyvää jätettä kutsutaan sähkö- ja elektroniikkaromuksi.

Uudelleenkäyttö (*re-use*). Käytöstä poistettujen tuotteiden tai niiden komponenttien käyttö uudelleen (lähinnä) siihen tarkoitukseen, johon ne on alunperin valmistettu.

Yhdyskuntajäte (*Municipal waste*). Asumisessa tai siihen ominaisuuksiltaan, koostumukseltaan ja määrältään rinnastettavan kaupan, teollisuuden ja muiden laitosten toiminnassa syntyvä jäte erilliskerätyt jakeet mukaan luettuna.

1 Johdanto

Kiihtyvä kuluttaminen, kulutustuotteiden lyhenevät elinkaaret ja hupenevat luonnonvarat ovat aiheuttaneet tilanteen, jossa sekä kuluttajien että yritysmaailman tulee saavuttaa ympäristöystävällinen toiminta. Materiaalien uudelleenkäyttö ts. kierrättäminen on erittäin tehokas tapa toimia ympäristöystävällisesti. Kierrätyksellä tarkoitetaan tässä diplomityössä jätteen hyötykäyttöä uusien tuotteiden valmistuksessa. Jätteen hyötykäyttö voi tarkoittaa myös jätteenpolttoa, jolloin jätettä hyödynnetään energiantuotannossa. Kierrätys vähentää neitseellisten raaka-aineiden ja energian kulutusta, joka puolestaan säästää ympäristöä.

Yhteiskunnan havahtuminen ympäristöongelmiin sekä tämän myötä tiukentuneet direktiivit ja lainsäädäntö ovat vaikuttaneet merkittävästi syntyneeseen tarpeeseen kehittää ja tehostaa kierrätystekniikassa käytettävää teknologiaa. Kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää pyritään vähentämään ja myös jätteenpolttoa pidetään huomattavasti huonompana vaihtoehtona kuin materiaalivirtojen uudelleenkäyttöä.

Edellä mainitut suuntaukset tekevät toimialasta kiinnostavan teknologiatoimittajan näkökulmasta. Markkina-alueella on selvät kasvunäkymät ja alalla toimivat kierrätysoperaattorit ovat muuttuneet paikallisista romun kerääjistä kansainvälisiksi konserneiksi. Kierrätystekniikan suhteen on kuitenkin vielä useita ongelmia ratkaistavana. Yksi tärkeimmistä on erotus- ja lajittelumenetelmien tehostaminen. Esimerkkinä mainittakoon käsinpoiminta, joka on menetelmänä hyvin yleinen vielä 2000-luvulla.

1.1 Tavoitteet

Tämän diplomityön tavoitteena on löytää kierrätysliiketoiminnasta ja sen tekniikasta yhteneväisyyksiä mineraaliteknologiatoimittajan teknisten ratkaisujen kanssa. Samalla pyritään vertailemaan kierrätysmarkkinoita ja kaivos- sekä mineraalimarkkinoita keskenään. Vertailu tehdään tarkastelemalla kierrätysmarkkinoiden ajavia voimia, trendejä sekä tulevaisuuden näkymiä. Markkinatutkimus tehdään pitkälti haastattelujen pohjalta, sillä kirjallisuutta aiheesta on vaikea löytää. Haastattelut ovat myös lähtökohtaisesti parempia tietolähteitä markkinoiden viimeisimpien muutosten ja haasteiden kartoittamiseen.

Työn hypoteesi on, että kaivosteollisuudessa toimivia prosesseja voidaan yhdistää kierrätysliiketoiminnassa käytettyihin prosesseihin nykyistä enemmänkin. Monet kaivosteollisuudessa käytetyt erotus- ja hienonnuksen menetelmät ovat jo käytössä tai niitä

voitaisiin soveltaa kierrätysliiketoiminnassa. Työn onnistumisen kannalta on tärkeää pystyä erottelemaan yrityksen tuoteportfoliosta lupaavilta vaikuttavat teknologiat vähemmän lupaavista, ja samalla tuoda esille tarvittavat muutokset, joita tuotteisiin tulisi tehdä, jotta teknologiat soveltuisivat paremmin kierrätystekniikkaan.

Erityisen tärkeää on pyrkiä löytämään ne tekijät, joiden avulla mineraaliteknologiatoimittajan olisi mahdollista tuoda uusia teknisiä ratkaisuja kierrätysliiketoimintaan. Diplomityö pyrkii vastaamaan kysymykseen: mitä lisäarvoa mineraaliteknologiatoimittaja voi alalle tuoda?

1.2 Rajaukset

Aihealueen rajauksena toimii Euroopan Unionin alue. Tämä tehdään lähinnä siksi, että diplomityön laajuus olisi tavoitteiden mukainen, ja lisäksi kerättävä tilastomateriaali on yhtenevä EU-alueella. Teknologioiden suhteen rajausta toteutuu työn edistymisen myötä, jolloin diplomityössä käsitellään vain sopiviksi todettuja teknologioita.

2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus on luonteeltaan laadullinen eli kvalitatiivinen, mutta itse tiedonkeruumenetelminä ovat markkinakysely sekä teemahaastattelu. Tutkimus koostuu alan kirjallisuuteen, julkaisuihin, tutkimusraportteihin ja Internet-lähteisiin perustuvasta teoriaosuudesta sekä teemahaastattelun ja markkinakyselyn avulla suoritetusta markkinatutkimuksesta. Laadullisella tutkimuksella pyritään syvällisemmin ymmärtämään ja käsittämään tutkittavaa ilmiötä (Hirsjärvi & Huttunen 1995). Yksinkertaisimmillaan laadullinen tutkimus ymmärretään aineiston muodon kuvauksena, jossa aineistolla tarkoitetaan tekstiä (Eskola & Suoranta 1999). Tutkimusmenetelmäksi soveltuu laadullinen tutkimus, kun: (Syrjälä et al. 1994)

1. ollaan kiinnostuneita tapahtumien yksityiskohtaisesta rakenteesta
2. ollaan kiinnostuneita yksittäisten toimijoiden merkityksestä
3. halutaan tutkia luonnollisia tilanteita, joissa kokeiden järjestäminen on mahdotonta tai olosuhteita ei voi kontrolloida
4. halutaan tutkia syy-seuraus -suhteita, joita ei voi kokein tutkia.

Tässä tutkimuksessa selvitetään uuden markkina-alueen pääpiirteitä liiketoiminnan, teknologian ja tuoteportfolion näkökulmasta. Laadullinen tutkimus soveltuu tähän työhön, koska sen avulla voidaan kattavasti tutkia kierrätysliiketoimintaa. Laadullista tutkimusta tukee markkinakyselyn ja haastateltavien henkilöiden subjektiiviset käsitykset ja kokemukset. Laadullisessa tutkimuksessa tutkimussuunnitelma voi olla avoin, ja se voi muuttua tutkimusprosessin aikana. Tutkimussuunnitelmaa tai tutkimusongelman asettelua voi joutua tarkistamaan aineistonkeruun tai tutkimuksen kirjoittamisen aikana. Tässä tutkimuksessa tavoite tarkentui työn edistyessä, minkä vuoksi tutkimussuunnitelmaa tarkistettiin tarvittavin väliajoin. Laadullisessa tutkimuksessa aineiston hankinnassa käytetään harkinnanvaraista, tarkoituksenmukaista tai teoreettista poimintaa. Laadullisessa tutkimuksessa tapausmäärä tai otanta voi olla pieni. Aineiston valinnassa kyse on näytteestä, ei otannasta. (Eskola & Suoranta 1999)

Tutkimustulosten luotettavuutta mitattaessa ei voida keskittyä pelkästään teemahaastattelun luotettavuuteen. Haastattelujen luotettavuuteen vaikuttaa oleellisesti koko tutkimusprosessi. Tutkittavasta aiheesta tulisi poimia keskeiset tekijät ja johtaa teoriasta keskeiset käsitteet. Teorian onnistuneesta käsittelystä huolimatta teemahaastattelun tema-alueiden valinta voi

epäonnistua. Haastateltavien valinta voi myös epäonnistua, ja siksi on tärkeää miettiä, mikä ryhmä ja ketkä henkilöt parhaiten vastaa tutkimuksen ongelmanasettelua. (Hirsjärvi & Hurme 1995)

Haastattelulla tarkoitetaan päämäärähakuista toimintaa, jonka tarkoituksena on kerätä informaatiota. Tutkimushaastattelujen erot syntyvät kysymysten muotoilusta ja haastattelijan asemasta haastattelutilanteessa. Tässä tutkimuksessa haastattelumenetelmänä käytetään puolistrukturoitua teemahaastattelua, joka on välimuoto täysin ennalta määrätystä lomakehaastattelusta sekä täysin avoimesta haastattelusta. Teemahaastattelussa käydään keskustelu etukäteen määriteltyjen teemojen avulla. Aihe alueet ovat tiedossa, mutta menetelmästä puuttuu kysymysten tarkka muoto ja järjestys (Hirsjärvi & Hurme 1995). Teemahaastattelujen avulla oli tässä tutkimuksessa mahdollisuus kartoittaa niitä kohtia kierrätysliiketoiminnasta, jotka kiinnostivat mineraaliteknologiatoimittajaa. Osittain avoimien haastattelujen avulla pystytään keräämään uutta tietoa, vaikka sitä ei suoraan osata kysyä. Teemahaastattelun etuna on strukturoitua haastattelua laajemmat mahdollisuudet haastateltavalle ihmiselle avoimemmin ilmaista itseään, mutta samalla varmistaa teemojen avulla, että jokainen teema-alue tulee käsiteltyä. Haastattelu ei kuulu pelkästään kvalitatiiviseen tutkimukseen, koska haastatteluilla voi kerätä myös kvantitatiivista aineistoa (Eskola & Suoranta 1999). Markkinakyselyssä käytettiin lähes samoja teemahaastatteluissa käytettyjä teemoja, mutta kysymysten asettelussa oli siirrytty puolistrukturoidusta rakenteesta strukturoituun eli ns. suljettuun kysymysmuotoiluun. Haastateltavien valinnassa turvauduttiin useiden eri henkilöiden arvioon sopivista haastateltavista.

Kvalitatiivisen tutkimuksen periaatteena on valita tarkoituksenmukainen haastateltavien joukko. Vaikka kvalitatiivisessa tutkimuksessa tulee arvioida koko tutkimusprosessin luotettavuutta, tutkijalla on selvä vaikutus tutkimuksen luotettavuuteen (Eskola & Suoranta 1999). Hirsjärven ja Hurmeen (1995) mukaan haastattelun suunnitteleminen voidaan jakaa ajallisesti kolmeen jaksoon:

1. Tutkimuksen yleisluontoinen suunnittelu, tavoitteiden ja ongelmien hahmottelu sekä ongelmien ratkaisuun tarvittavan tiedonhankinnan suunnittelu.
2. Varsinaisen haastattelutilanteen toteutuksen ja kulun suunnittelu.
3. Haastattelun jälkeisen toiminnan suunnittelu.

2.1 Tutkimuksen suorittaminen

Tutkimus koostuu kirjallisuusosasta sekä markkinatutkimuksesta. Kirjallisuusosassa esitetään kierrätysliiketoiminnan eri liiketoiminta-alueet sekä käytetyt teknologiat. Markkinatutkimuksessa analysoidaan haastattelujen ja markkinakyselyn tuloksia, selvitetään alalla toimivat teknologiatoimittajat ja kierrätysyritykset, arvioidaan teknologiamarkkinoiden kokoa, esitetään tärkeimmät ympäristödirektiivit ja pohditaan niiden vaikutusta liiketoimintaan sekä selvitetään kierrätysliiketoiminnan trendejä sekä tulevaisuudennäkymiä.

Haastateltaviksi valittiin pääasiassa kierrätysyrityksiä, koska ne ovat mahdollisia asiakkaita teknologiatoimittajalle. Haastattelut keskittyivät selvittämään teknologiatoimittajan näkökulmasta asiakkaan tarpeita. Kilpailijoiden toimia ei tässä tutkimuksessa tutkittu. Myös muutamia muita alan asiantuntijoita haastateltiin.

Haastattelut kestivät puolesta tunnista tuntiin. Haastattelut kirjoitettiin pääpiirteittäin puhtaaksi, jonka jälkeen aineisto analysoitiin. Johtopäätösosassa haastattelujen analyysia on verrattu kirjallisuusosioon, ja näin on saatu vastauksia tutkimuksen alussa asetettuihin tutkimusongelmiin. Haastateltavia oli yhteensä 16 henkilöä.

Haastattelujen edetessä huomattiin aineiston kylläntymistä eli saturaatiota. Aineiston kylläntymisellä tarkoitetaan aineiston riittävää kokoa, joka kattaa tutkimusongelman. Uudet haastattelut eivät tuoneet enää tutkimusongelman kannalta uutta tietoa, jonka vuoksi lisähaastatteluista luovuttiin. (Eskola & Suoranta 1999)

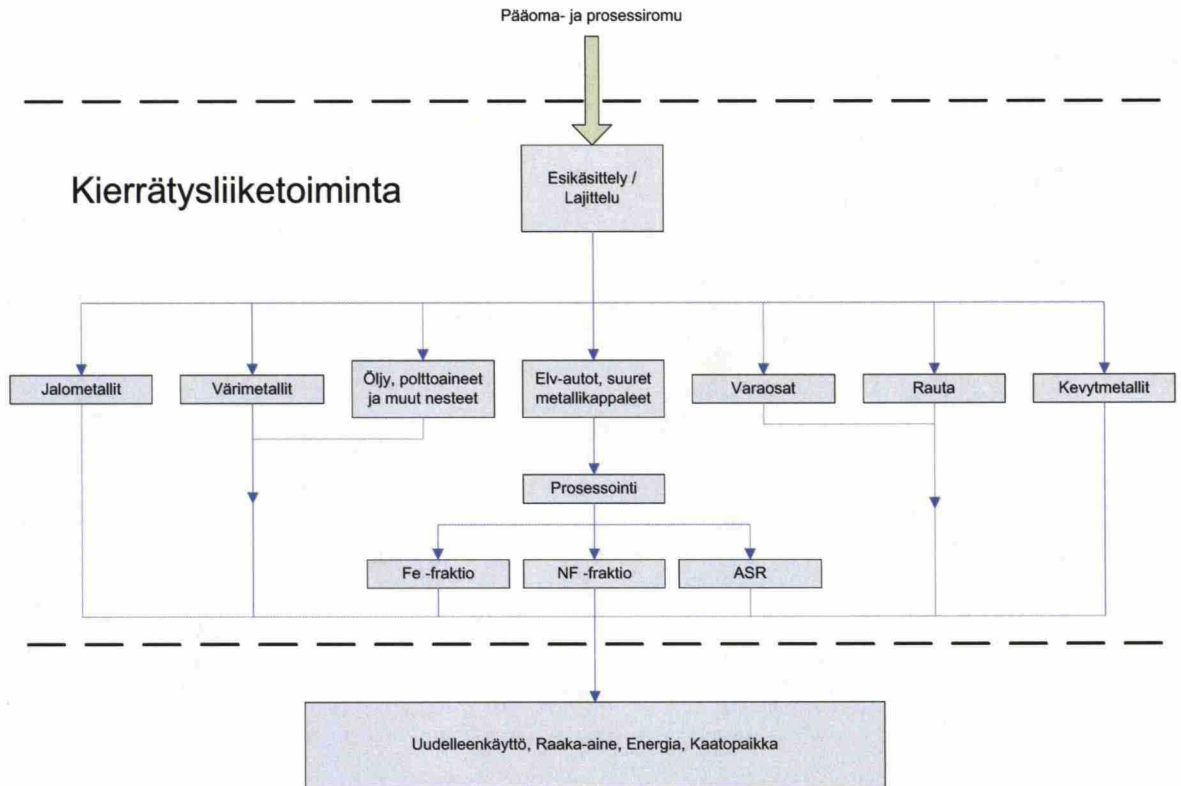
Markkinakyselyn lähtökohta oli hyvin samanlainen kuin tehdyt haastattelut. Kyselyssä selvitettiin asiakkaan tarpeita. Kohdemaat olivat Suomi, Ruotsi, Saksa ja Puola, mutta vain kolmesta ensimmäisestä vastaanotettiin vastauksia. Vastausprosentti oli noin 23 %, joten sitä voidaan pitää riittävänä analysointia varten (Eskola & Suoranta 1999). Markkinakyselyn kaikki tulokset on esitetty liitteinä diplomityön lopussa. Markkinakyselyn tulokset toimivat haastatteluissa syntyneiden näkökulmien pohdinnan tukena

3 Liiketoiminta-alueet

Kierrätysliiketoiminta voidaan jakaa eri liiketoiminta-alueisiin prosessoitavien raaka-aineiden ja niihin sovellettavien prosessien avulla. Työssä esitetyille liiketoiminta-alueiden tuoteryhmille on pyritty esittämään materiaalikoostumus sekä sen mahdolliset vaikutukset kierrätettävyyteen. Tuoteryhmät ovat jätteenä kiinteää, syntyviltä jätemääriltä huomattavia sekä mekaanisen prosessitekniiikan tarjoamien mahdollisuuksien valossa kiinnostavia. Tässä työssä keskitytään pääasiassa metalliromun, sähkö- ja elektroniikkaromun sekä yhdyskuntajätteiden tarkasteluun. Muita liiketoiminta-alueita myös mainitaan, mutta diplomityön laajuuden puitteissa kaikkia liiketoiminta-alueita ei ollut mahdollista käsitellä kattavasti. Jokaisen liiketoiminta-alueen toimintamalli pyritään esittämään lohkokaaviona, jossa mainitaan prosessoinnissa käytetyt kierrätysteknologiat. Teknologiat käsitellään tarkemmin luvussa 4.

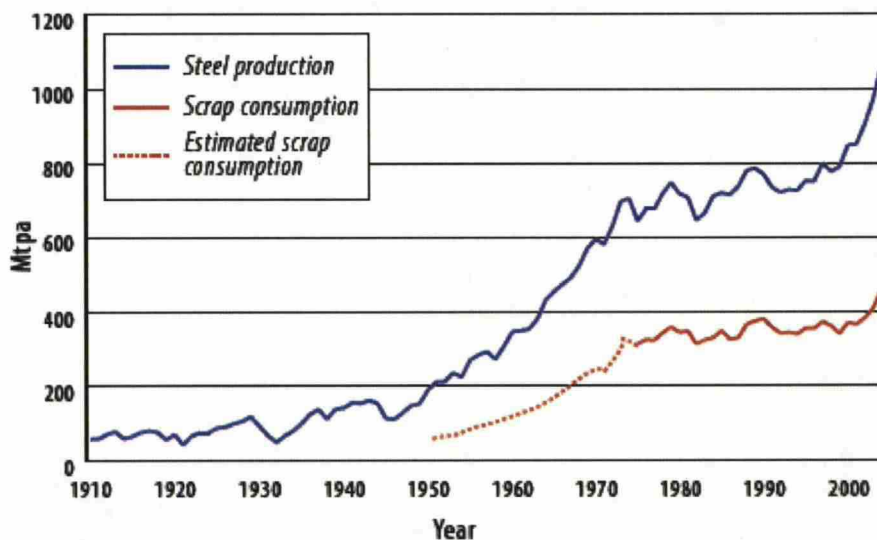
3.1 Metallit

Metalliromu on kansantaloudellisesti erittäin merkittävä kierrätysmateriaali. Metallien kierrätystä pidetään yhtenä ratkaisevana keinona vähentää metallien jalostuksen ympäristövaikutuksia. Metallien kierrätys vähentää neitseellisten luonnonvarojen louhinnan tarvetta, jolloin materiaalivirrat ja energian kulutus pienenevät. Metallien kierrättäminen ei heikennä metallien ominaisuuksia, mikä tekee metalleista materiaaleina ainutlaatuisia. Tämän vuoksi metalleita voidaan kierrättää periaatteessa loputtomasti, jos metallit saadaan kerättyä tehokkaasti talteen. Metallien kierrätys ei kuitenkaan ole täysin rajoituksetonta, sillä erilaisia hävikkejä tapahtuu metallien kierrossa jatkuvasti eikä kaikkia metalleja voida enää lopputuotekäytön jälkeen erotella tuotteista. Taloudellisesta näkökulmasta katsoen metallien kierrätys on maailmanlaajuisesti erittäin merkittävää. Romujen käytön tärkein perustelu onkin juuri taloudellisuus. Se perustuu erilaisiin energian ja materiaalien käyttötarpeen vähennyksiin, jolloin myös kerrannaisvaikutukset, esimerkiksi päästöt vähenevät. Metallien kierrätyksessä toteutuu siis samanaikaisesti sekä taloudellisuus että haitallisten ympäristövaikutusten vähentyminen. Metallien kierrätykseen liittyvä liiketoiminta on esitetty lohkokaaviona kuvassa 1. Kaaviossa kohdalla esikäsittely/lajittelu tarkoitetaan romupihalla tapahtuvaa materiaalien tunnistamista, lajittelua, polttoleikkausta, hydraulistaleikkausta sekä briketointiä. Prosessoinnista syntyvät jakeet on käsitelty alakohdassa 3.1.2. (Melanen et al. 2000)



Kuva 1. Metallien kierrätysliiketoiminta. (Rönneberg 2008)

Vuonna 2006 EU25 -alueella tuotettiin 1240 miljoonaa tonnia terästä, jonka valmistuksessa käytettiin 110,9 miljoonaa tonnia kierrätysterästä eli käytöstä poistettuja teräksestä valmistettuja tuotteita, minkä johdosta teräs on maailman kierrätetyin materiaali. Kuten kuvasta 2 voidaan todeta, on kierrätysteräksen käyttö maailmassa kasvanut tasaisesti ja kasvun uskotaan myös jatkuvan tulevaisuudessa. (Haikka 2007)



Kuva 2. Kierrätysteräksen käytön kehitys maailmassa vuosina 1910-2000. (IISI 2008)

3.1.1 Raaka-aine

Metallin kierrätyksessä raaka-aineella tarkoitetaan romua, joka syntyy joko: (Juutinen & Mäenpää 1998)

- kulutus ja investointitavaroiden hylkäämisestä syntyvänä pääomaromuna
- tuotantotoiminnan prosessiromuna tai
- teollisuuden sisäisenä kiertoromuna.

Pääoma- ja prosessiromu ovat tässä työssä pääasiassa käsiteltäviä romufraktioita. Pääomaromu on usein kompleksisessa muodossa ja sen talteenottamiseksi vaaditaan esikäsittely, lajittelu, metallien erottelu ja puhdistus. Pääomaromu voidaan karkeasti jakaa rauta- ja teräsromuun sekä värimetalleihin. Rauta- ja teräsromun kierrätys on maailmassa suurusluokaltaan merkittävintä. Värimetalleita ovat mm. kupari, alumiini, sinkki, nikkeli ja lyijy. (Juutinen & Mäenpää 1998)

Prosessiromu on usein huomattavasti homogeenisemmassa muodossa, jolloin sen jatkojalostus on pääomaromua helpompaa. Tuotantotoiminnassa syntyvän prosessiromun määrää pyritään jatkuvasti vähentämään, jotta syntynyt hävikki olisi mahdollisimman vähäistä.

Teräs- ja rautaromu ovat tehokkaimmin sekä laajamittaisimmin kierrätetty metallifraktio. Teräs on aina raudan, muiden metallien sekä ei-metallisten aineiden seos. Yleisimpiä seosaineita ovat alumiini, kupari, lyijy, kromi, nikkeli, mangaani, molybdeeni ja pii. Yleisimmät ei-metalliset seosaineet ovat hiili, rikki, fosfori ja typpi. Runsasseosteiset teräkset kuten ruostumaton teräs tulisi aina pitää erillään muusta teräsromusta, mikäli halutaan välttää epäpuhtauksien aiheuttamilta ongelmilta valmistusprosessissa. Yleisin ja haitallisin teräsromun seassa oleva epäpuhtaus on kupari, jonka pitoisuuden rajoittaminen teräsromussa on keskeistä. (Dammert 1994)

Alumiini on kierrätyksen kannalta tärkeimpiä värimetalleja. Se on materiaalina erinomainen kierrätettävyydeltään. Alumiinin metalliominaisuudet eivät heikkene kierrätyskertojen myötä, mikäli se saadaan eroteltua täysin puhtaaksi. Uudelleenkäytettävää raaka-ainetta on kahta eri lajia: profiilien ja muiden tuotteiden valmistukseen liittyvää prosessiromua alumiiniteollisuudesta sekä loppuun palvelleita tuotteita. Alumiiniteollisuuden ja sen asiakkaiden prosessiromu voidaan käyttää melkein sataprosenttisesti. Prosessiromu on helppo tunnistaa ja sen seos on yleensä hyvin tunnettu. Sen sijaan loppuun palvelleiden

alumiinituotteiden tunnistaminen on huomattavasti vaikeampaa (Vattulainen 2008). Tuotteet koostuvat yleensä monista eri aineista, jotka on erotettava toisistaan ennen uudelleenkäyttöä. Alumiini on menestyksekkäimmin kierrätetty materiaali maailmassa. Alumiinipitoista romua ovat mm. autonromut, elektroniikkalaitteet, kodinkoneet sekä esimerkiksi alumiinista valmistetut juomatölkit. (Juutinen & Mäenpää 1998)

Myös kupari on kierrätyksen kannalta toimiva materiaali. Noin 80 % louhitusta kuparista on vielä käytössä ja kierrätyksessä. Noin 34 % maailman kuparin kysynnästä tyydytetään kierrätetyllä kuparilla. Kierrätetyn kuparin käyttö säästää 85 % energiaa verrattuna primäärituotantoon kaivoksista. Kuparipitoista romua ovat esimerkiksi autonromut, elektroniikkalaitteet sekä kaapelit. Kuparituotteiden käyttöiät vaihtelevat huomattavasti autosien kymmenestä vuodesta rakennusten jopa sataan vuoteen, keskimääräiseksi käyttöiäksi on arvioitu noin 25 vuotta. (ICSG 2008)

3.1.2 Toimintamalli

Metallin kierrätyksen toiminnan lähtökohtana on kerätä pienemmät materiaalivirrat yhteen, ns. romupihoille. Romupihoilla käsittelymenetelmänä on tavallisesti lajittelu ja polttoleikkaus tai hydraulinen paloittelu, jossa eri metallit erotetaan toisistaan ja saatetaan luokituksen mukaiseen kappalekokoon. Onnistunut lajittelu luo edellytykset tehokkaalle materiaalien kierrättämiselle. Se on kierrätysketjun ensimmäinen materiaalinkäsittelytoimenpide, josta seuraavat erotusprosessit ovat vahvasti riippuvaisia. Henkilöstön tietotaito ja kokemus ovat olleet pitkään ratkaiseva tekijä romupihoilla tapahtuvassa metallien erotuksessa. Metallien tunnistaminen on perustunut lähinnä metallin magneettisiin ominaisuuksiin ja silmämääräiseen arvioon sekä tietoon siitä, mitä materiaalia on käytetty eri metallituotteissa. Viime vuosina tunnistustekniikat ovat kehittyneet. Tunnistuksen apuna käytetään nykyään mm. röntgenfluoresenssiin perustuvia kannettavia analysaattoreita, jotka tunnistavat analysoitavan metallin muutamissa sekunneissa. (Mustonen 2008)

Romupihoilla tapahtuvassa erotuksessa syntyy sivutuotteena esikäsiteltyä romua, kuten peltiromua ja monimetalliromua, joka toimitetaan erikoistuneelle romuliikkeelle hyödynnettäväksi. Toimijan raaka-ainepohjasta riippuen sen toiminnalle voi olla suurempi merkitys koneiden ja laitteiden osien välityksellä ja esikäsittelyllä kuin varsinaisella tuotannolla. Erityisesti pienillä toimijoilla on romun käsittelyn lisäksi vähittäismyyntiä suoraan pienkuluttajille. Kierrätysoperaattorit voivat toimittaa luokittelemansa romun joko

suoraan romua käyttävälle teollisuuslaitokselle tai siirtää sen eteenpäin romua laajemmalla alueella kokoavalle tukkuliikkeelle. Erityisesti arvokkaampia metalleja romuliikkeet toimittavat myös vientiin.

Lisäkäsittelyä vaativa romu, kuten yhdyskunnista syntyvä monimetalliromu sekä autopeltiromu toimitetaan eteenpäin romun rikastus- ja jalostuslaitokselle (ks. kuva 4). Romun rikastuksessa metalliraaka-aineen pitoisuutta nostetaan esimerkiksi murskauksen, seulonnan, ominaispainoerotuksen, materiaalien pesun sekä muiden mekaanisten tai kemiallisten erotustekniikoiden avulla. Murskaimesta ulos tulevia materiaalivirtoja ovat: (Melanen et al. 2000)

- magneettinen metallifraktio (Fe- fraktio)
- ei-magneettinen metallifraktio: sekoitus alumiini-, kupari- ja sinkkiseoksia (NF-fraktio)
- fluffi / pöly: sisältää mm. muoveja, eristemateriaaleja, maata, puuta, tekstiilejä ja johdon palasia (ASR, auto-shredder residue).

Murskalaitoksen prosessin lohkokaaavio on esitetty romuautonprosessoinnin yhteydessä alakohdassa 3.1.4. Muita käytössä olevia käsittelymenetelmiä ovat mm. paalaus, briketointi tai kaapeliromun hyödyntämisessä käytetyt kuorinta ja/tai granulointi. (Juutinen & Mäenpää 1998)

3.1.3 Kierrätystuotteen markkinat

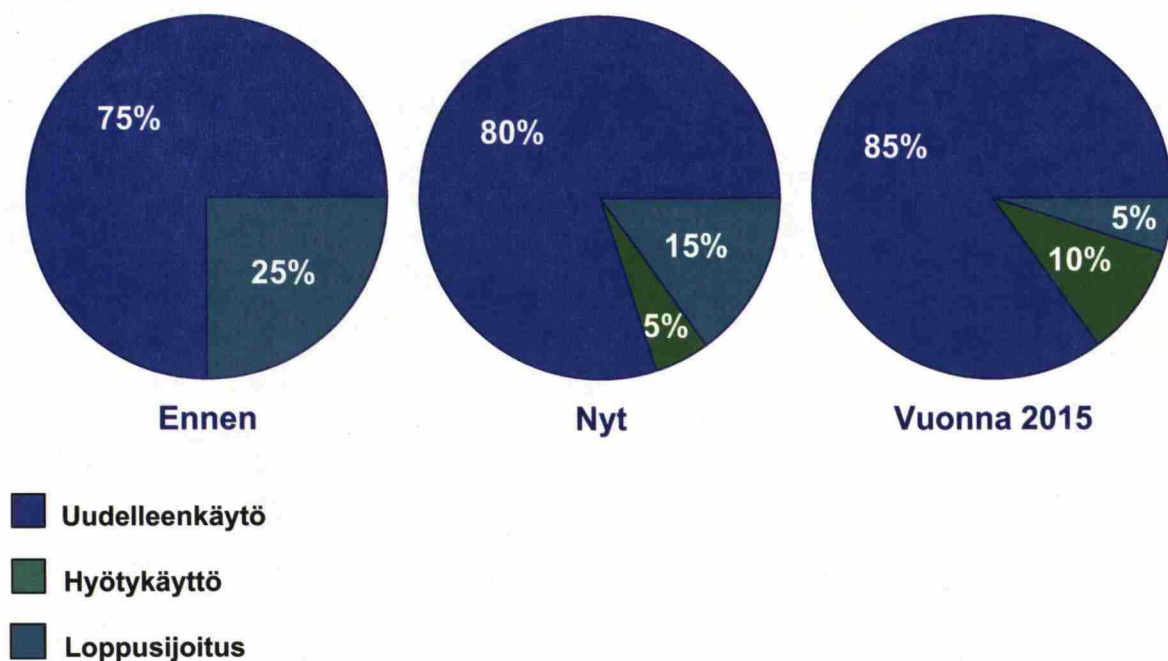
Kierrätyksessä romuja käytetään etupäässä uudelleen metallien valmistukseen, mutta myös muita hyötykäyttömuotoja on olemassa. Jotta olisi kysymys kierrätyksestä, romun ei tarvitse palautua samaksi perustuotteeksi, jota se on ollut – ei myöskään samalle metallin valmistajalle tai samaan maahan, josta se on lähtenyt. Metallien kierrätystä on myös metalliesineiden tai -osien uudelleenkäyttö samaan tarkoitukseen ja käytöstä poistetun romumateriaalin käyttö sellaisenaan raaka-aineena muiden, uusien tuotteiden valmistukseen. Tällaiset ”lyhyet” kierrot ovat ympäristön, energian ja muiden resurssien käytön sekä kokonaistaloudellisuuden kannalta edullisempia kuin se, että metalliromu sulatetaan uudelleen ja jalostetaan metallijalosteiksi. Metallin elinkaarikierron suhteen välitön uudelleenkäyttö merkitsee metallituotteiden pidentynyttä käyttöikää eli hitaampaa ja myöhempää romun syntymistä. (Melanen et al. 2000)

Kuten aiemmin todettiin, on romun tarkka lajittelu ja puhdistaminen tärkeä tekijä sekä sen käytettävyyden että käytössä syntyvien päästöjen takia. Eri tehtaiden prosesseilla on erilaiset vaatimukset romun puhtauden eli pitoisuuksien suhteen. Jotkut tuotantoprosessit sietävät epäpuhtauksia paremmin kuin toiset. Kierrätysyrityksille romun loppukäyttäjän vaatimat pitoisuusasteet tarkoittavat yleensä parempaa myyntihintaa, mutta romun jatkojalostus ei ole korkeammasta myyntihinnasta huolimatta taloudellisesti aina kannattavaa. Samoin vaatimukset romun kappalekoolle vaihtelevat romua käyttävän tehtaan mukaan. Romun esikäsittelijöillä onkin käytössään tehdaskohtaiset luokat romun lajittelemiseksi loppukäyttäjälle sopivaksi. Romuluokituksen pääjako on metallisisällön mukaan rauta ja teräsromu, ruostumaton teräsromu sekä ei-rautametallit (alumiini, kupari, sinkki jne.). Tärkeimpiä romuluokkia, niiden syntypaikkoja ja käsittelytapoja Suomessa on esitetty liitteessä 1. (Airas 2008)

Tehtaan mahdollisuudet romun vierasaineiden poistoon ovat rajalliset. Siksi jo alunperin on valittava mitä romuluokkia voidaan käyttää milläkin tehtaalla – sen prosessi ja muut teknis-taloudelliset edellytykset huomioon ottaen – ja esimerkiksi minkä teräslajien valmistukseen mitään romua käytetään. Epäpuhtaudet aiheuttavat yleensä aina ylimääräisiä kustannuksia muun muassa ylimääräisen prosessoinnin ja sen mukana lisääntyneen energian, tarvittavien lisäaineiden ja pidemmän käsittelyajan vuoksi. Epäpuhtaudet aiheuttavat samalla lisääntyviä päästöjä ja jätteitä – joskus sellaisia, joita ei lainkaan olisi ilman romun epäpuhtauksia. (Melanen et al. 2000)

3.1.4 Autojen kierrätys

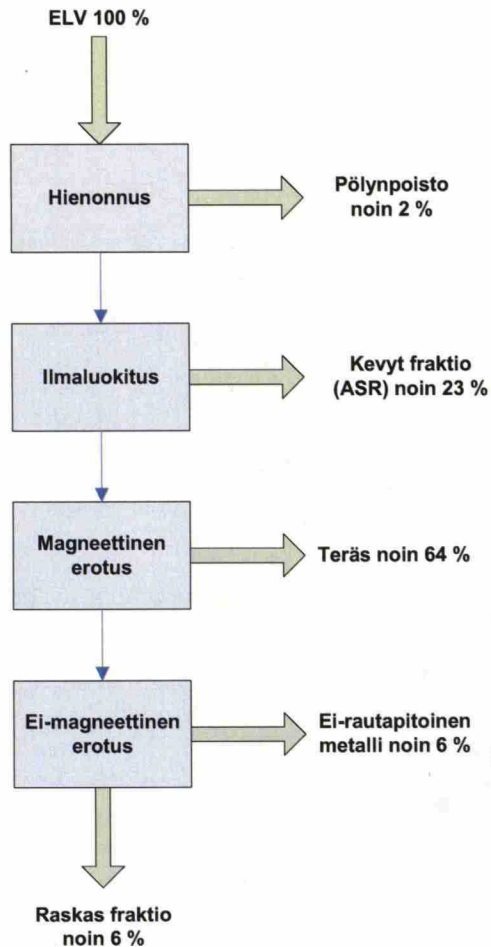
Autonromut ovat erittäin merkittävä metalliromun lähde. Arviot autonromun kertymistä eivät ole tarkkoja, mutta niiden kierrätysasteen arvioidaan olevan noin 80–85 %. Kuvassa 3 on esitetty autonromutuksen materiaalinhyötykäytön kierrätysasteen kehitys. Autokannan keski-ikä vaikuttaa merkittävästi kertymiin sekä autonromun prosessointiin. Materiaalikoostumukset vaihtelevat huomattavasti eri vuosikymmenillä valmistetuissa autoissa, jolloin on vaikea suunnitella prosessointilaitoksia hyvin vaihteleville materiaaalivirroille. Vanhemmat autot ovat myös huonokuntoisempia, joten niiden purkaminen ennen prosessointia on hankalaa ja kallista. Autonromun kierrätyksen ympäristövaikutuksia tarkasteltaessa tulee tilannetta verrata ympäristöön hylättyyn autonromuun. Käytöstä poistettu auto on hylättyinä maisemahaitta ja romun sisältämät ongelmajätteet voivat saastuttaa maaperää. (Juutinen & Mäenpää 1998)



Kuva 3. Autonromutuksen kierrätysasteiden kehitys. (Mustonen 2008)

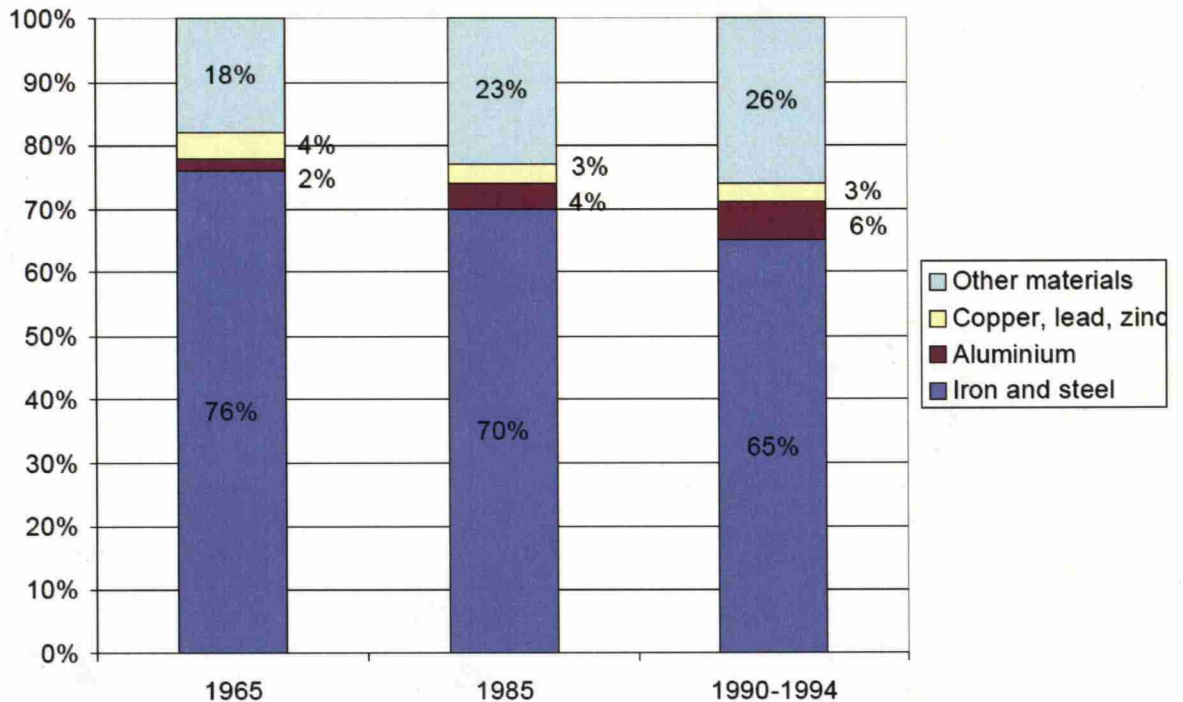
Autonromu täytyy purkaa selektiivisesti ennen prosessointia. Purkua kutsutaan autonromun esikäsitteilyksi. Tämä tarkoittaa uudelleen käytettävien sekä muiden irrotettavissa olevien osien irrottamista ennen autonromun hienonnusta. Esikäsitteilyssä auto myös kuivataan. Kuivaamisella tarkoitetaan erilaisten nesteiden poistamista autosta, kuten esimerkiksi jäähdytinnesteet, jarrunesteet, öljyt ja bensiini. Akkujen ja nesteiden lisäksi autonromusta pyritään ennen hienonnusta ottamaan talteen uusiokäytettävät ja helposti irrotettavat komponentit kuten renkaat, katalysaattorit, tuulilasit, moottorit sekä muoviosat, kuten puskurit. Romuajoneuvodirektiivissä on määritelty toimenpiteet, jotka tulee vähintään tehdä ennen autonromun prosessointia. (Mustonen 2008)

Tämän jälkeen esikäsitelty autonromu ts. ELV-auto (End of life vehicle) prosessoidaan murskauslaitoksella. Ensimmäiseksi tehdään itse murskaus, jonka jälkeen kevytaines erotetaan ilmaluokittimilla. Kevytaines sisältää mm. muoveja, kuituja, lasia, keraameja sekä metalleja. Rauta- ja teräsjae erotetaan rumpumagneeteilla. Ei-magneettinen erotus tehdään pyörrevirtaerottimilla, jonka tuloksena saadaan erilleen ei-rautapitoinen metalli ja raskas fraktio. ELV-auton prosessoinnin pääpiirteet ja massavirtafraktiot on esitetty lohkokaaviona kuvassa 4. (Koskinen 2008)



Kuva 4. ELV-auton prosessointi. (MT-304-3 2007)

Prosessointilaitokselle saapuva esikäsitelty autonromu painaa noin 500 – 800 kg (Nijkerk & Dalmijn 2001). Autonromun keskimääräisen materiaalikoostumuksen kehitys vuosina 1965–1994 on esitetty kuvassa 5. Raudan ja teräksen osuutta on korvattu kevyemmillä materiaaleilla, kuten alumiinilla ja synteettisillä materiaaleilla (other materials). Synteettisten materiaalmäärien kasvu on lisännyt paineita kehittää kierrätysteknologioita, sillä esimerkiksi muovi on yksi kierrätyksen kannalta ongelmallisimmista materiaali-jakeista. Autonromun kierrätyksen kannalta taloudellisesti kannattavimmat materiaalit ovat rauta ja ei-rautametallit, kuten: alumiini, kupari, sinkki, lyijy ja magnesium. Lasi, kumi, muovit sekä kuitumaiset materiaalit ovat materiaaleja, joille etsitään jatkuvasti käyttökohteita ja uusia prosessointi- menetelmiä. Erityisen hankalaksi on osoittautunut johdonpätkien erotus ei-rautametallisesta jakeesta. Jotta romuajoneuvo direktiivin asettamat tavoitteet saavutetaan, tulee erityisesti kevytjakeen eli ASR:n kierrätysasteen kasvaa. (Mustonen 2008)



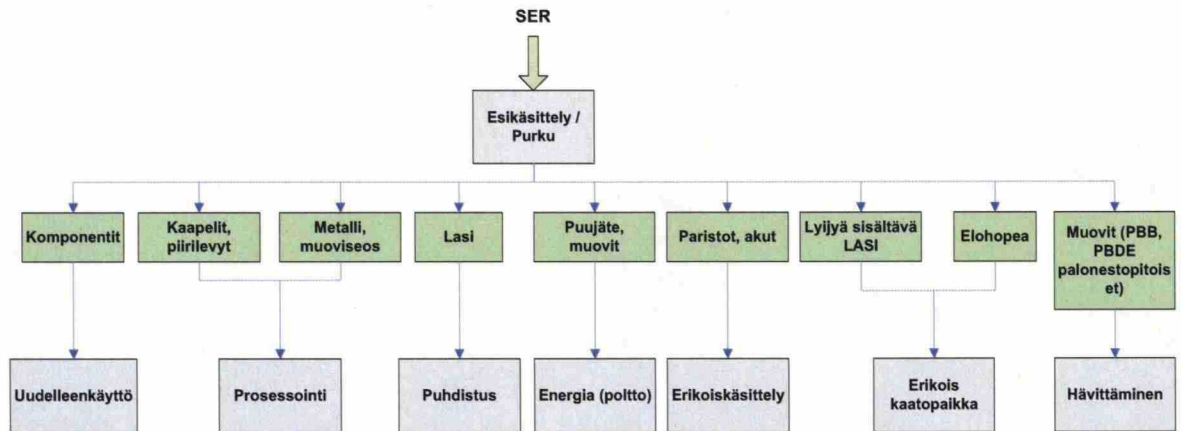
Kuva 5. Autonromun keskimääräisen materiaaliakoostumuksen kehitys vuosina 1965–1994. (IISI 2008)

3.2 Sähkö- ja elektroniikkaromu

Sähkö- ja elektroniikkaromun (SER) kierrätyksen toteuttaminen on määritelty erittäin tarkasti WEEE- ja ROHS-direktiiveissä. Direktiivit on mainittu alakohdassa 5.1.2.

Sähkö- ja elektroniikkalaitteita ovat kaikki laitteet, jotka tarvitsevat sähköä toimiakseen. Jokainen sähkö- ja elektroniikkalaite (SE-laite) koostuu useista komponenteista. Tavallisia komponentteja ovat piirilevyt, kaapelit, johdot ja johtimet, elohopeakatkaisimet ja –kytkimet, näyttölaitteet, esimerkiksi katodisädeputket ja nestekidenäytöt, akut ja paristot, tiedontallennusvälineet, valaistuslaitteet, kondensaattorit, vastukset ja releet sekä anturit ja liittimet. (Santavuori 2003)

SE-laitteet ovat rakenteeltaan monimutkaisia ja sisältävät huomattavan määrän eri materiaaleja ja osia. Näin ollen myös sähkö- ja elektroniikkaromu koostuu monista erilaisista materiaaleista ja komponenteista (ks. liite 2). Sähkö- ja elektroniikkaromun heterogeenisen koostumuksen takia SER:n kierrätys on haasteellinen tehtävä. Kuvassa 6 on esitetty SER:n lohkokaavio, joka havainnollistaa kuinka useita kierrätettäviä materiaali-jakeita SER sisältää.



Kuva 6. Sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätyksen lohkokaavio. (MT-304-3 2007)

Euroopan ympäristöministeriön viimeisimpien arvioiden mukaan SER:a syntyi vuonna 2007 EU27-alueella noin 8,3–9,1 miljoonaa tonnia. SE-laitteiden lyhenevät tuote-elinkaaret ja kiihtyvä teknologinen kehitys ovat kasvattaneet SER:n volyymejä. Toimivia ja hyvässä kunnossa olevia SE-laitteita hävitetään jatkuvasti enemmän. Cuin ja Forsbergin (2003) mukaan SE-laitteiden tuotanto on yksi nopeimmin kasvavista laitevalmistuksen aloista. Vuonna 2015 Euroopassa syntyvän SER:n jätemäärän on arvioitu olevan noin 13 miljoonaa tonnia (Goosey 2004). Käytöstä poistuvien elektroniikkalaitteiden määrän arviointi on vaikeaa johtuen luokittelun ja tilastoinnin epäyhtenäisyyksistä. Lisäksi useilla Euroopan mailla tilastot ovat erittäin puutteellisia. Samaa tuoteryhmää kuvaavissa tilastoissa eroja saattaa syntyä laskentaperusteina käytettyjen laitteiden käyttöikää koskevien erilaisten arvioiden perusteella.

3.2.1 Tuoteryhmät ja materiaalit

Sähkö- ja elektroniikkalaitteet koostuvat useista eri materiaaleista. Tuoteryhmien laajan kirjon ja erilaisten tuotetyyppien vuoksi materiaalikoostumukset vaihtelevat suurestikin eri tuotteissa. Karkeasti määriteltynä sähkö- ja elektroniikkaromu jaetaan kahteen ryhmään: valkoiseen ja ruskeaan (white and brown). Valkoinen jäte sisältää mm. kylmälaitteet, pesukoneet ja muut kappalekooltaan suuret laitteet, jotka ovat rakenteeltaan melko yksinkertaisia. Ruskea jäte sisältää kaiken IT-laitteista pieniin kulutuselektroniikkatuotteisiin. Sähkö- ja elektroniikkaromu on erittäin heterogeenistä: se sisältää sekä arvokkaita jalometalleja että ympäristölle haitallisia aineita. Kaiken kaikkiaan sähkö- ja elektroniikkaromusta löytyy jopa 1000 erilaista komponenttia. Sähkö- ja elektroniikkaromussa esiintyvistä materiaaleista merkittävimpiä ovat rautametallit, kupari, alumiini ja jalometallit sekä erilaiset muovit ja lasi. Euroopassa syntyvän valkoisen- ja

ruskeanelektroniikkaromun yhteenlasketut keskimääräiset materiaalienkoostumukset on esitetty taulukossa 1. (Santavuori 2003)

Taulukko 1. Euroopassa syntyvän SER:n keskimääräinen materiaalienkoostumus. (Santavuori 2003)

<i>Materiaali</i>	<i>Osuus, p-%</i>
Rauta ja teräs	47,9
Alumiini	4,7
Kupari	7
Muut metallit	1
Muovit	20,6
Lasi	5,4
Kumi	0,9
Keramiikka	2
Puu	2,6
Piirilevyt yms. komponentit yhteensä	3,1
Siitä:	
Al	0,2
Cu	0,3
Fe	0,3
Ni, Pb, Sn, Zn, Br, Sb (0,01-0,1 %)	0,3
Ag, Au, Be, Cd, Cr, Pd, Hg (<0,01 %)	0,01
Muovilevyt	2
Muut materiaalit	4,6
<u>Yhteensä</u>	100

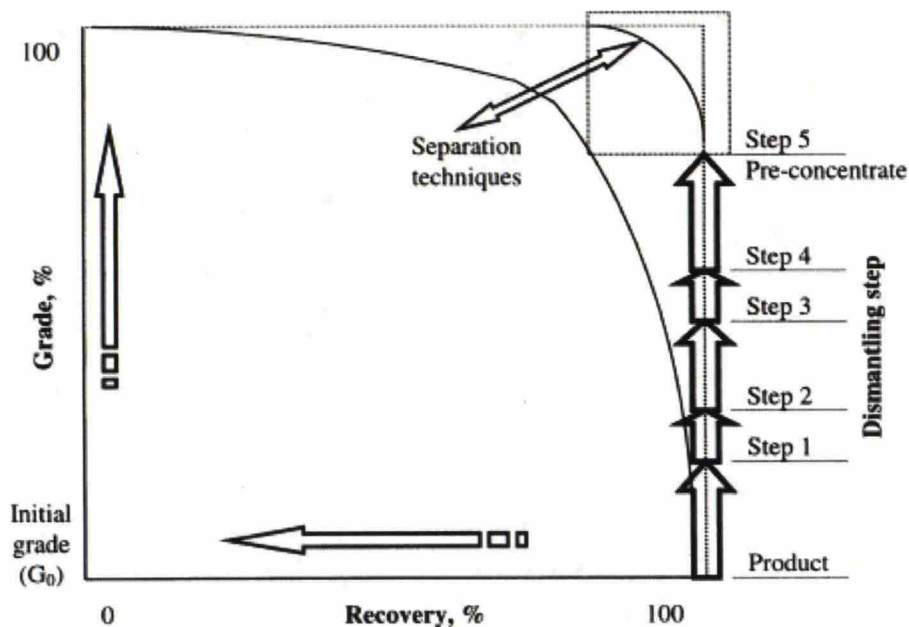
Valkoinen SER on kierrätettävyydeltään huomattavasti helpompaa, mutta ruskea SER sisältää huomattavasti enemmän arvokkaita metalleja. Tällä hetkellä ei-rautametallien ja jalometallien kierrätys elektroniikkaromusta tarjoaa suurimman taloudellisen kannusteen kierrätykseen. Erityisesti kulta on houkutellut kierrätykseen. Metallit ovat sähkö- ja elektroniikkalaitteiden materiaalisällöstä parhaiten kierrätettäviä. (Tohka & Lehto 2004)

ABS-muovi ja PC-muovi muodostavat suuren osan elektroniikkaromun muovisisällöstä. Muovin hyödyntämistä materiaalina vaikeuttavat erityisesti vanhojen laitteiden puutteelliset merkinnät sekä halogenoitujen palonestoaineiden käyttö. Useat muovien prosessointiin erikoistuneet käsittelijät eivät tämän vuoksi käsittele elektroniikkalaitteista peräisin olevia muoveja. Palonestoaineet ja muut terveydelle haitalliset materiaalit muoveissa vaikeuttavat myös muovin hyödyntämistä energiana. Muovin käsittelytavoista mekaaninen käsittely sopii lähinnä lajitellulle homogeeniselle muovijätteelle. Kemiallinen kierrätys (feedstock

recycling), eli muovin purkaminen takaisin peruskemikaaleiksi öljynjalostamoa vastaavassa laitoksessa taas edellyttää suurta volyymiä, minkä takia menetelmä ei ole vielä yleistynyt. Kemiallisen kierrätyksen mahdollisuuksia erityisesti elektroniikkakierrätyksessä tutkitaan jatkuvasti. Muovin hyödyntäminen energiana on sekamuovien osalta usein ainoa taloudellinen käsittelytapa. Muovien kierrätystä käsitellään tarkemmin kohdassa 3.7. (Zhang et al. 1999)

3.2.2 Toimintamalli

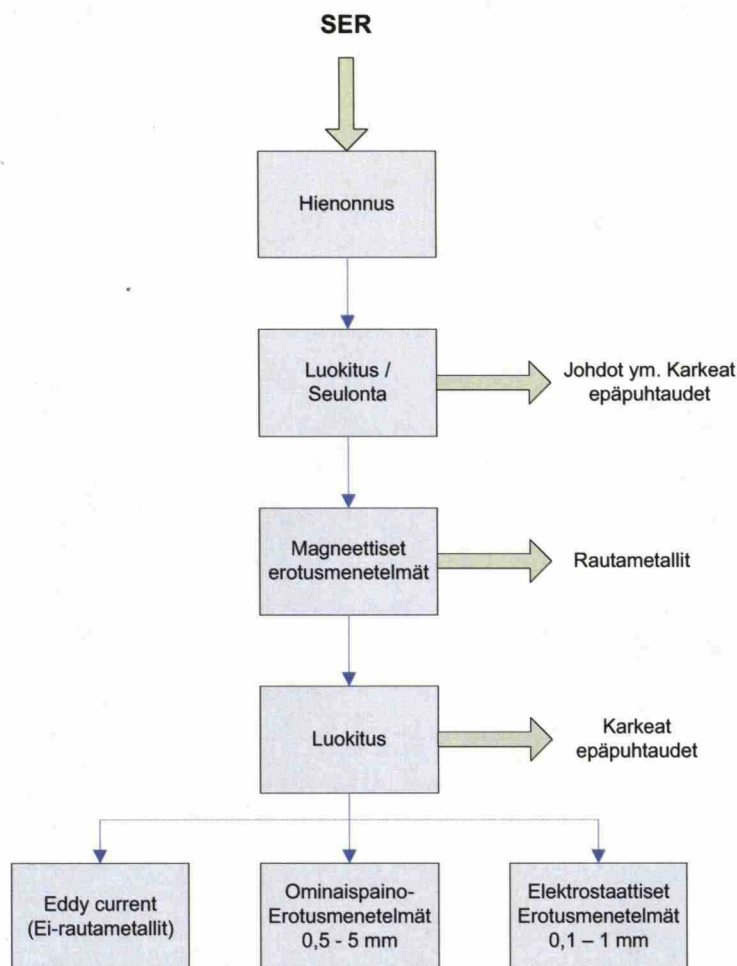
Sähkö- ja elektroniikkaromussa olevat arvometallit ovat pääasiassa rajoittuneet tiettyihin komponentteihin. Selektiivinen esikäsittely (selective dismantling), joka keskittyy juuri edellä mainittuihin arvometalleja sisältäviin komponentteihin, parantaa arvometallien saantia SER:sta, ehkäisee haitallisten aineiden pääsyn ympäristöön sekä mahdollistaa komponenttien uudelleenkäytön. SER:n oikeaoppinen esikäsittely on ratkaiseva tekijä onnistuneen kierrätyksen näkökulmasta. Esikäsittelyn tehostamisen ja automatisoinnin kehittämisen saavuttamiseksi tehdään jatkuvaa tutkimustyötä. Esikäsittelyn vaiheiden lukumäärässä tulee kuitenkin aina huomioida kustannustehokkuus. Vaikkakin yhä mittavampi esikäsittely johtaa pääasiassa parempaan saantiin, niin se ei välttämättä ole kustannustehokasta olemassa olevilla esikäsittelymenetelmillä. Kuvassa 7 on esitetty esikäsittelyn merkitys SER:n kierrätyksessä. Kuvasta voidaan havaita kuinka yhä pidemmälle viety esikäsittely (dismantling step) johtaa parempaan saantiin ja puhtausasteeseen. (Zhang et al. 1999)



Kuva 7. Esikäsittelyn merkitys SER:n kierrätyksessä. (Zhang et al. 1999)

WEEE-direktiivin mukaan jäsenvaltioiden on huolehdittava siitä, että tuottajat perustavat järjestelmiä SE-romun esikäsittelyä varten. Tämän lisäksi tulee esikäsittelyssä poistaa useat aineet, valmisteet ja komponentit kaikista erilliskerätyistä sähkö- ja elektroniikkalaitteista.

Sähkö- ja elektroniikkaromun mekaaninen kierrätys tapahtuu useimmiten murskaamalla laitteet ja erottelemalla tämän jälkeen metallit muusta materiaalista. Toimintamallin lohkokaavio on esitetty kuvassa 8. Volyymitasolla tärkeimmät kierrätettävät materiaalit ovat alumiini, teräs, kupari ja sinkki. (Spets 2008)



Kuva 8. SER:n mekaanisen prosessoinnin lohkokaavio. (MT-304-3 2007)

Jalometallien keräys käytetyistä elektroniikkalaitteista, erityisesti piirilevyistä, tapahtuu useimmiten erottamalla jalometallit sulatus- ja liuotusprosessissa. Piirilevyissä on paljon eri metalleja, jotka erotellaan levyistä yleensä kemiallisesti. Elektronisille komponenteille, erityisesti prosessoreille ja muistipiireille, on myös olemassa jonkinlaiset jälleenmarkkinat. Arvometallien määrä on laskussa elektroniikkateollisuudessa. Laitteiden kehityssuuntauksena on myös ollut koon pienentyminen, jolloin metallisia osia on korvattu kevyemmällä muoveilla. Muovien valmistus neitseellisistä raaka-aineista on halvempaa kuin kierrätysmuovin käyttö, joten myös tämä heikentää elektroniikkatuotteiden kierrätyksen kannattavuutta. Syntyvän jätteen määrän tuomat ongelmat kaatopaikkasijoituksen ja ongelmajätteiden muodossa luovat uusia perusteita kierrätykselle. (Zhang et al. 1999)

Elektroniikkaromun mekaaninen kierrätys voidaan jakaa laitteiden sekä komponenttien hyötykäyttöön, jolloin laite puretaan ts. esikäsitellään sekä materiaalienhyötykäyttöön, jolloin käytetään mekaanisia prosesseja. Mekaanisen prosessoinnin lisäksi elektroniikkaromu voidaan hyödyntää materiaalina pyro-, bio-, tai hydrometallurgisten

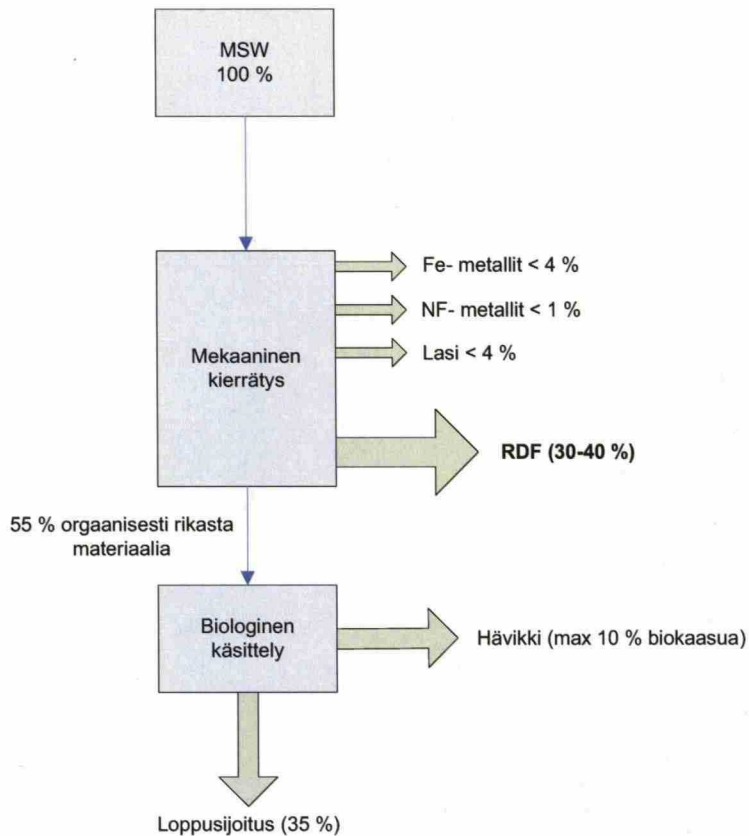
prosessien avulla. Energiahyötykäyttö on mahdollista, mutta SER:n sisältämien ongelmajätteiden ja suuren lämpösisältönsä vuoksi se ei ole suositeltavaa. (Spets 2008)

3.3 Yhdyskuntajäte

Yhdyskuntajätteellä tarkoitetaan asumisesta, teollisuudesta, palveluista tai muusta toiminnasta syntyvää sekajätettä. Yhdyskuntajäte on yksi ongelmallisimmista jätevirroista kierrätyksen näkökulmasta. Yhdyskuntajätteet sisältävät mm. metalleja, muoveja, kuituja, puuta, keraameja, lasia, maa-aineksia ja ruokaa. Yhdyskuntajätteen ominaisuusavaruus on niin kompleksinen, että sen lajitteleminen on osoittautunut erittäin hankalaksi.

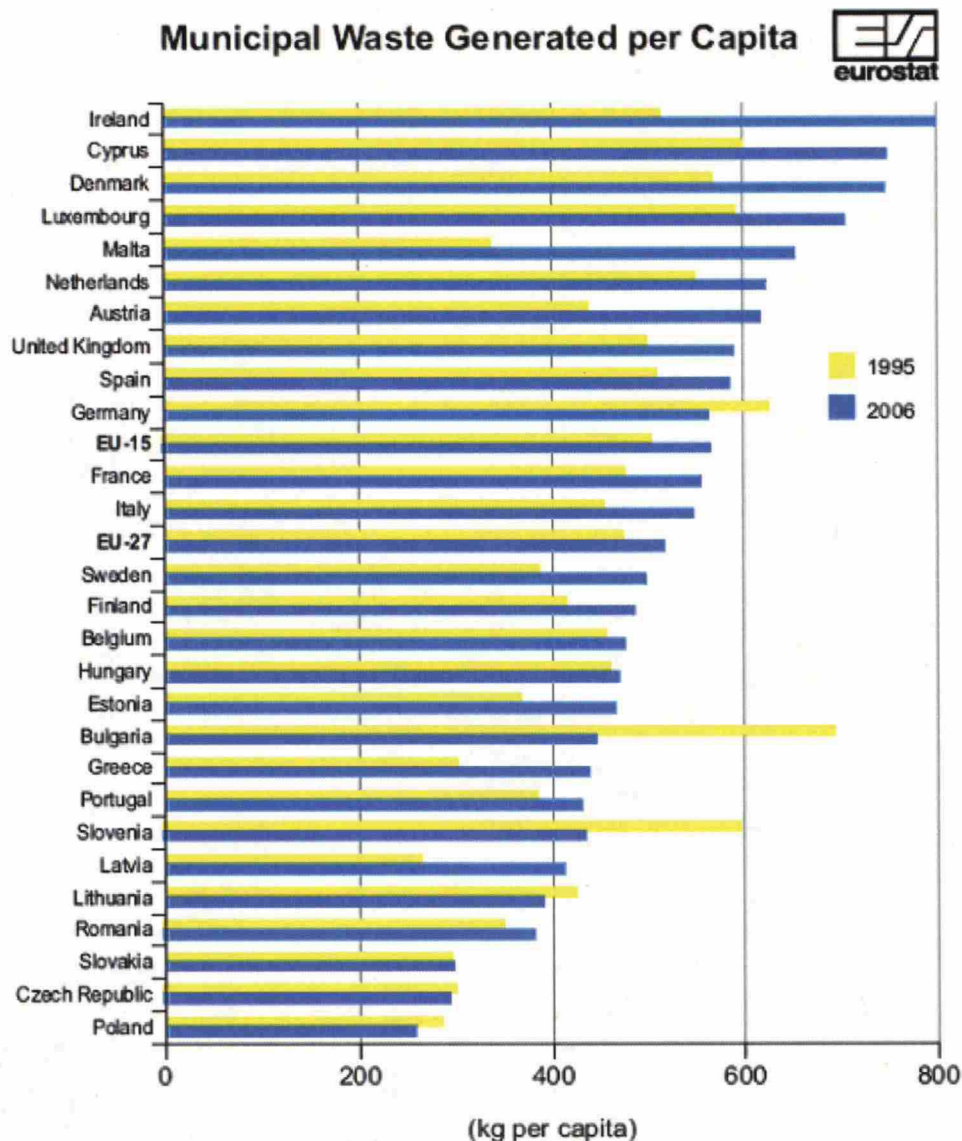
Uudistunut lainsäädäntö on tuonut mukanaan uusia elementtejä jätteen hyödyntämiseen, koska tuottajavastuun toteutuminen tapahtuu pääasiassa yksityisesti. Jätehuollon kustannukset kohoavat myös loppusijoituksen teknisten vaatimusten myötä. Jäte on vähitellen muuttumassa haitasta raaka-aineeksi. Kiristyvät hyötykäyttövaatimukset yhdessä jäteveron, kaatopaikkamaksujen ja kohoavien poltto- ja raaka-ainehintojen kanssa muuttavat jätteen statusta jatkuvasti haluttavammaksi materiaalivirraksi.

Yhdyskuntajätteet sisältävät useita kierrätettäviä sekä taloudellisesti kiinnostavia materiaalifraktioita. Kuvassa 9 on esitetty yhdyskuntajätteen lohkokaavio.



Kuva 9. Yhdyskuntajätteen lohkokkaavio. (Ludwig et al. 2003)

Yhdyskuntajätteen kokonaismäärät ovat kasvussa Euroopassa. Kasvuvauhti on hieman hidastunut viime vuosina, ja sen oletetaan stabiloituvan, tosin korkealle tasolle. Yhdyskuntajätteen määrä henkilöä kohden on keskimäärin korkeampi vanhoissa EU-jäsenmaissa (EU 15). Tämä voi osittain johtua myös uusien jäsenmaiden tilastoinnin puutteellisuudesta. Kuvassa 10 on esitetty Euroopan yhdyskuntajätteen määrät maakohtaisesti. Yhdyskuntajätteisiin on laskettu sekä kotitalouksien että teollisuuden yhdyskuntajätteet. (Huhtinen et al. 2007)



Kuva 10. Yhdyskuntajätteen määrät henkilöä kohden Euroopassa vuosina 1995 ja 2006. (EUROSTAT 2008)

3.3.1 Lajittelumenetelmät

Keräilyn ja kuljetuksen järjestämisen kaksi päävaihtoehtoa ovat jätteen syntypaikoilla tapahtuva esilajittelu ja toisaalta pääasiassa laitoksiin keskitetty lajittelu.

3.3.1.1 Syntypaikkalajittelu

Tehokas syntypaikkalajittelu on edellytys yhteiskuntajätteiden materiaalihyötykäytölle. Yhdyskuntajätteestä lajitellaan syntypaikoilla useita jätelajeja, joita kerätään kiinteistöittäin tai asuinalueittain. Tavallisimmin lajitellaan keräyspaperia ja ongelmajätteitä, mutta myös yhä useammalla paikkakunnalla metallia, elektroniikkaromua, keräyslasiä ja biojätettä. Syntypaikkalajittelulla saadaan talteen puhtaampia jätelajeja kuin

laitoslajittelulla. Jätteet lajitellaan syntypaikoilla yleensä 1–6 astiaan riippuen syntypaikasta sekä yritys- ja talousjätteen laadusta. Nykyään kotitalouksien paperi- ja biojäte on lähes aina syntypistelajiteltua. (Lohila et al. 2000)

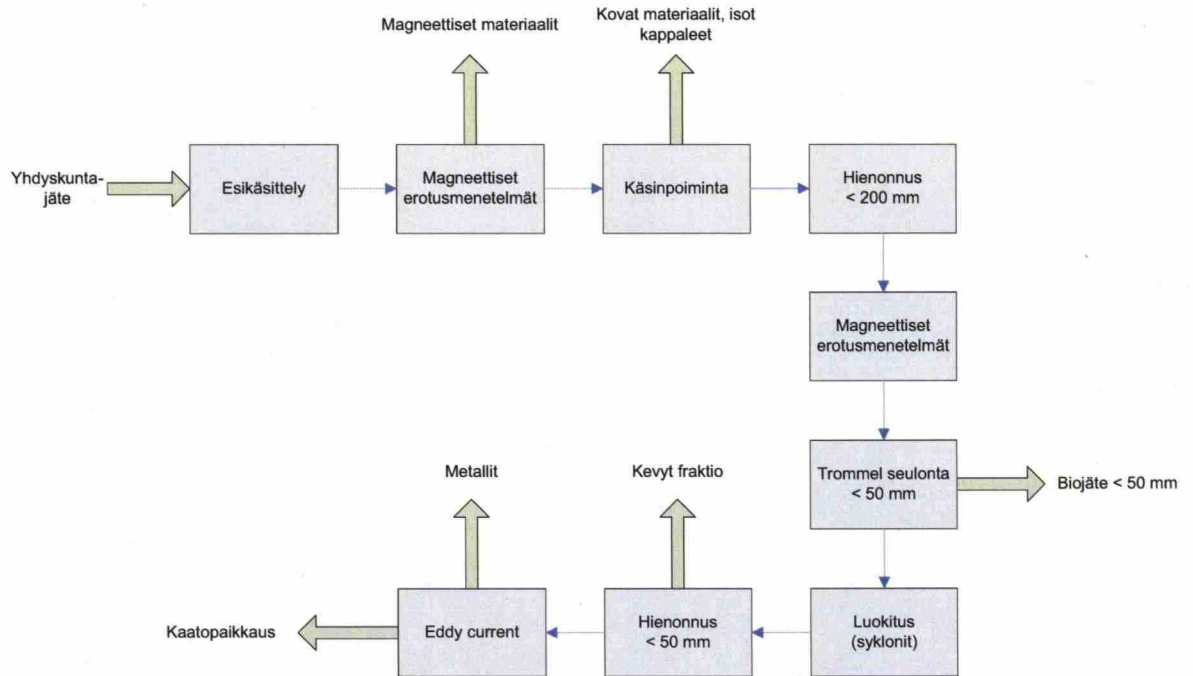
Yksinkertaisin tapa syntypaikkalajittelussa on erotella paperi- sekä biojäte jätevirrasta, jolloin jäljelle jäävä jäte on valmista jatkokäsittelyä varten. Eräs mahdollisuus on erottaa jätteen märkä jae ja ns. kuiva jae (paperi, muovi, puu, erilaiset pakkausmateriaalit jne.) kahteen eriväriseen muovipussiin, jotka viedään samaan roskasäiliöön. Muovipussit erotellaan optisesti jäteasemalla, josta märkä jae viedään kompostointiasemalle prosessoitavaksi ja kuiva jae prosessoitavaksi polttoainekäyttöön. (de Vries et al. 2000)

3.3.1.2 Jätteiden laitoslajittelu

Sekalaisen yhdyskuntajätteen lajittelun tavoitteena on tuottaa teollisuuden raaka-aineita. Lisäksi lajittelun avulla tuotetaan materiaalia muiden jätteiden käsittelyprosesseja varten. Sekalaisen yhdyskuntajätteen lajittelun edellytyksenä on sopivien hyötykäyttökohteiden löytyminen syntyville jätejakeille (Kokko 2001). Jätteiden laitosmaisella lajittelulla voidaan korvata osittain tai kokonaan jätteiden syntypaikkalajittelu, mutta useimmiten laitoslajittelu täydentää jätteiden syntypaikkalajittelua. Tällöin helposti toisistaan erilleen saatavat jätejakeet voidaan kerätä ja kuljettaa yhdessä. (Lohila et al. 2000)

Mekaanisesti tapahtuva jätteiden lajittelu soveltuu suurten jätemäärien lajitteluun. Lajittelulaitokset toimivat yleensä muiden jätteitä hyötykäyttävien laitosten, kuten poltto- ja kompostointilaitosten, yhteydessä. Näin voidaan ottaa talteen esimerkiksi polttoon menevästä jätteestä muuhun hyötykäyttöön kelpaavat sekä polttoon kelpaamattomat jätejakeet. Ongelmajätteen erilliskeräilyllä voidaan helpottaa lajittelulaitosten myöhempää toimintaa.

Jätteiden lajittelu lajittelulaitoksissa perustuu yleensä eri jätejakeiden fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kuvassa 11 on esitetty erään jätekäsittelylaitoksen laitoslajittelun lohkokaavio.



Kuva 11. Jätteenkäsittelylaitoksen laitoslajittelun lohkokaavio.

Jätteiden lajittelulaitoksilta saatavat hyödyntämiskelpoiset jättejakeet ovat riippuvaisia laitosratkaisusta. Lisäksi jättejakeiden hyötykäyttöön vaikuttavat teollisuuden asettamat laatuvaatimukset. Käytännössä tärkeimmät lajittelulaitoksilta saatavat jättehyödykkeet ovat: (Kokko 2001)

- polttoaine (pelletit, brikitit yms.)
- kompostiraaka- aine
- rautapitoinen jäte
- paperijäte
- muovijäte.

Edellä mainittujen lisäksi lajittelulaitoksista voidaan saada myös muita jättejakeita kuten lasia ja alumiinia. (Bolander 2008)

3.3.2 Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaineella tarkoitetaan teollisuuden, yritysten, kaupan ja kotitalouksien polttokelpoisista kiinteistä ja syntypaikalla lajitelluista kuivajätteistä sekä energiajätteistä mekaanisella käsittelyprosessilla valmistettua polttoainetta. Kierrätyspolttoaineesta

käytetään yleisesti myös kirjainlyhennettä **REF** (Recovered Fuel). Kierrätyspolttoaineilla voidaan korvata olemassa olevien lämpö- ja voimalaitosten tai muiden termisten prosessien kiinteitä polttoaineita. REF- polttoainemäärityä käytetään ainoastaan Suomessa.

Jätepolttoainetta valmistetaan myös lajittelemattomasta yhdyskuntajätteestä. Lajittelemattomasta yhdyskuntajätteestä mekaanisella käsittelyprosessilla valmistetusta polttoaineesta käytetään nimitystä **RDF** (Refuse Derived Fuel). RDF-polttoaineita käytetään yleisesti Euroopassa. Erikoistapauksissa polttoaineina voidaan käyttää myös muita jätevirtoja, kuten jätevedenpuhdistamojen lietteitä, elektroniikkaromua, autonrenkaita jne., mutta ne vaativat omat erityistekniikat. (Alakangas 2000)

3.3.2.1 Laatuluokat

Kierrätyspolttoaineiden raaka- aineet ovat peräisin useista eri lähteistä, mistä johtuen niiden laatu vaihtelee. Kierrätyspolttoaineen laatuksitekereistä tärkeimmät ovat: (Alakangas 2000)

- kemiallinen koostumus (mm. klooripitoisuus, metallinen alumiini- ja raskasmetallit).
- epäpuhtaudet (kuten metalli, lasi) ja tuhkapitoisuus
- kosteus
- palakoko.

Kierrätyspolttoaineen laatuun vaikuttavat jätteen alkuperä ja materiaalipohja. Yleensä kierrätyspolttoaineet koostuvat useista eri jätefraktiosta, kuten muovista, puusta paperista, pakkauksista tai alumiinifoliosta. Jos polttoaine sisältää runsaasti muovia, sen kosteus on alhainen ja lämpöarvo korkeampi suuremman vety- ja hiilipitoisuuden takia. Jos polttoaineessa on puuta, on sen kosteus suurempi ja vastaavasti lämpöarvo alhaisempi. Polttoaineen sisältämän PVC-muovin määrän kasvaessa kasvaa myös seoksen klooripitoisuus.

Palakoko on kaikissa murskettua polttavissa laitoksissa osoittautunut ratkaisevaksi tasalaatuisuuden ja syötettävyyden kannalta. Liian suuri palakoko voi aiheuttaa polttoaineiden syöttölaitteiden tukkeutumista sekä agglomeroitumista. Palakoko vaikuttaa polttoaineen syötön tasaisuuteen ja palamisen tehokkuuteen sekä syntyvien päästöjen määrään. Kierrätyspolttoaineiden kokeilukäytössä olleen laatuluokituksen ehdotukset palakoolle (nimelliskoko 60 mm ja max. 300 mm) ovat syöttimien kannalta järkeviä. (Alakangas 2000)

3.4 Rakennus- ja purkujäte

Rakennustyömailla eli talonrakennustoiminnassa syntyvät jätteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: (Nissinen 2004)

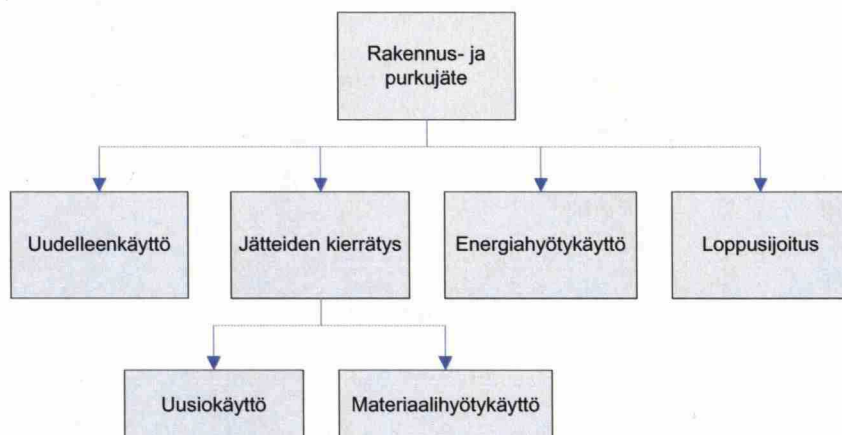
- uudisrakentamisen jätteet
- korjausrakentamisen jätteet
- purkujätteet.

Talonrakennuksen jätteistä suurimmat jätelajit kertyvät puu- ja kiviainespohjaisista materiaaleista, molemmat noin 36 prosenttia. Loppu koostuu mm. metalleista, muoveista ja muusta sekalaisesta rakennusjätteestä sekä ongelmajätteistä. Korjausrakentamisessa syntyvistä jätteistä merkittävä osuus on puupohjaisella jätelajilla, uudisrakentamisessa ja rakennusten purkamisessa syntyvässä jätteessä painoarvo on kivipohjaisilla jätteillä. Euroopan ympäristöministeriö teetti vuonna 1999 tutkimuksen Euroopassa syntyvistä rakennus- ja purkujätteistä. Tulokset on nähtävissä taulukossa 2.

Taulukko 2. EU 15 maissa vuonna 1999 syntynyt rakennus- ja purkujätteen määrä ja kierrätysasteet. (EOCD 2008)

Figure 1.1: C&DW Arisings and Recycling (Summary Table)			
Member State	'Core' C&DW Arisings (m tonnes, rounded)	% Re-Used or Recycled	% Incinerated or Landfilled
Germany	59	17	83
UK	30	45	55
France	24	15	85
Italy	20	9	91
Spain	13	<5	>95
Netherlands	11	90	10
Belgium	7	87	13
Austria	5	41	59
Portugal	3	<5	>95
Denmark	3	81	19
Greece	2	<5	>95
Sweden	2	21	79
Finland	1	45	55
Ireland	1	<5	>95
Luxembourg	0	n/a	n/a
EU-15	180	28	72

Teoriassa lähes kaikki rakennusjäte on hyödynnettävissä ja käytännössäkin päästään suuriin hyötykäyttöasteisiin. Rakennus- ja purkumateriaalien hyödyntäminen voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: uudelleenkäyttö, kierrätys ja energiahyötykäyttö. Osa rakennus- ja purkujätteistä päättyy edelleen loppusijoitukseen. Rakennus- ja purkutoiminnan lohkokaavio on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Rakennus- ja purkutoiminta.

Syntypaikkalajittelu on aina taloudellisesti tapahtuvan hyötykäytön edellytys. Lajittelun aste ja lajiteltavat jakeet määräytyvät tapauskohtaisesti. Puretuista rakennusosista ja laitteista, jotka kelpaavat hyötykäytettäväksi, ei tarvitse maksaa jäteveroa. Taloudellisten hyötyjen ohella myös rakentamisen ympäristökuormituksia voidaan vähentää korvaamalla raaka-aineita uusiotuotteilla tai käyttämällä toisesta kohteesta purettu rakennusosa uudelleen. Rakennustoiminta kokonaisuudessaan on merkittävä jätteiden tuottaja, mutta samalla potentiaalinen jätteiden hyötykäyttäjä. Lentotuhkan, jota syntyy kivihiilen poltossa, käyttöä betonin sidosaineena on jo menestyksellisesti kokeiltu. (RIL-216 2001)

3.4.1 Toimintamalli

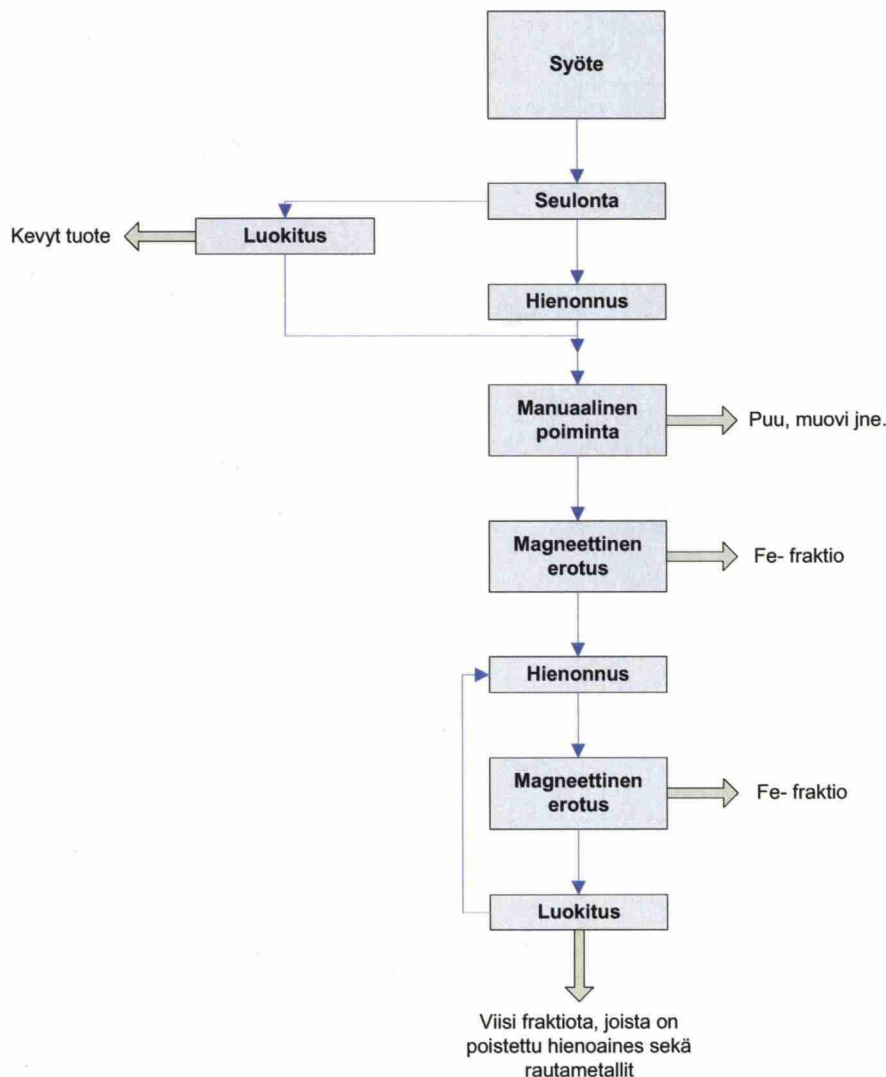
Rakennusjätteen kierrätysprosessin valinta riippuu sekä syötettävästä jättemateriaalista että niistä vaatimuksista mitä lopputuotteelta vaaditaan. Tällaisia uusiotuotteen ominaisuuksia ovat: puhtaus, raekoko- ja raemuotojakauma sekä materiaalkoostumus. Kuten aikaisemmin on jo mainittu, ovat rakennusjätteet suurimmalta osaltaan maa-aineksia ja siihen verrattavia materiaaleja, kuten betonia. Rakennusjätteet ovat siten murtumisominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia kuin mineraalit. Rakennusjätteen hienontamisessa käytetäänkin samoja laitteita kuin mineraalien hienonnuksessa, kuten leuka- ja iskumurskaimia. Rakennusjätteen mukana tulevat, murtumisominaisuuksiltaan erilaiset materiaalit tulisi erotella ja kierrättää omina jakeinaan.

Rakennusjätteen kierrätystä suunniteltaessa seuraavat asiat tulisi huomioida: (Nissinen 2004)

- syötteen koostumus
- tuotetun raekokojakauman koko sekä laatu

- materiaalien jakautuminen eri jätetyyppeihin
- laitoksen kapasiteetti
- käsiteltävän materiaalin määrät
- tarjolla oleva tila
- lupatekijät.

Rakennusjätteen prosessointilaitokset voidaan jakaa liikuteltaviin, puoli-liikuteltaviin sekä kiinteisiin. Tämän lisäksi jako voidaan tehdä märkä- tai kuivaprosesseihin. Kuivaprosessointi on esitetty kuvassa 13. Prosessissa tapahtuu kaksivaiheinen hienonnus ns. karkea ja hieno. Muita mekaanisia erotusprosesseja ovat luokitus, seulonta ja magneettierotus.



Kuva 13. Rakennus- ja purkujätteen prosessoinnin lohkokaavio. (Nissinen 2004)

3.5 Paperi & pahvi

Eurooppa on maailman johtavia paperin ja pahvin valmistaja-alueita. Vuonna 2006 CEPI (Confederation of European Paper Industries) -alueella tuotettiin 102.231 miljoonaa tonnia paperia ja pahvia. Taulukossa 3 on esitetty eri materiaalityypit ja niiden valmistusmäärät vuosina 2004–2006.

Taulukko 3. Paperi ja pahvin valmistus CEPI-alueella vuosina 2004–2006. (ERPA 2008)

'000 Tonnes	2004	2005	2006	% Change 2006/2005
Newsprint	11,266	10,972	11,244	2.5
Uncoated Mechanical	6,796	6,678	7,460	11.7
Coated Mechanical	10,335	10,435	10,306	-1.2
Uncoated Woodfree	10,885	10,659	10,715	0.5
Coated Woodfree	10,374	10,168	10,592	4.2
Other Graphic Papers	38,390	37,940	39,073	3.0
TOTAL GRAPHIC	49,656	48,912	50,317	2.9
SANITARY & HOUSEHOLD	6,054	6,293	6,389	1.5
Case Materials	22,575	23,548	24,570	4.3
Carton Board	8,071	8,036	8,412	4.7
Wrappings	3,752	3,702	3,914	5.7
Other Paper for Packaging	4,308	4,197	4,160	-0.9
TOTAL PACKAGING	38,706	39,483	41,056	4.0
OTHERS	4,221	4,258	4,469	5.0
TOTAL PAPER & BOARD	98,637	98,946	102,231	3.3
Total Paper and Board Production 2006				
EU CEPI Countries				98,424
EU Non-CEPI Countries (Estimated)				1,651
Total EU-25				100,075

Keräyspaperi jaotellaan erilaisiin alaryhmiin mm. seuraavien kriteereiden mukaan: (Paperinkeräys 2008)

- keräyspaikka
- kuitukoostumus
- alkuperäinen partikkelilajike
- jalostus- ja käsittelyaste
- jatkojalostusmahdollisuudet.

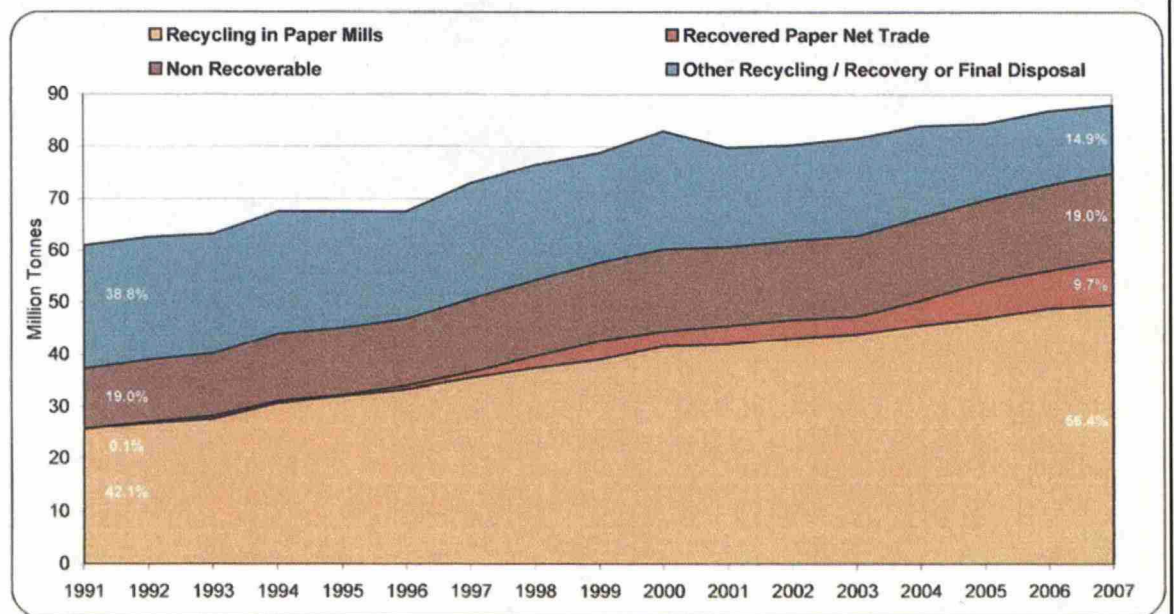
Kotikeräyspaperista valmistetaan uutta sanomalehtipaperia, vaaleasta konttoripaperista tehdään pehmopaperituotteita, keräyspahvi ja nestepakkauskartonki hyödynnetään kartonkiteollisuudessa, ennen kaikkea hylsyjen raaka-aineena. Pieniä määriä keräyspaperia

käytetään lämmöneristeiden, ns. ekovillan, valmistukseen sekä kirjekuoripaperin ja munakennojen valmistukseen.

Keräyspaperin ohella kierrätyksen kannalta mielenkiintoinen jätelaji on paperintuotannossa syntyvä hylky. Hylkyä syntyy sekä paperinvalmistuksessa ja –jalostuksessa että kirjapainossa. Syntyneitä hylkyjä ovat esimerkiksi rullahylky ja leikkuutähde. Näiden kierrättämiseen on kiinnitettävä enemmän huomiota tulevaisuudessa.

Käytetty aaltopahvi on arvokas kierrätysmateriaali, jonka kysyntä on lisääntynyt koko maailmassa. Aaltopahvi kulkeutuu pääasiassa kauppaan ja teollisuuteen. Pakkausjätteistä aaltopahvin kierrätys muodostaa suurimman yksittäisen jakeen. Pahvia kerätään yleensä rullakoihin. Suuremmissa yksiköissä, esimerkiksi teollisuudessa ja kaupassa, keräyksen helpottamiseksi on olemassa keräyspahvin puristimia ja paalaimia. Keräyspahvista valmistetaan mm. aaltopahvia. (Keräysviesti 2007)

Keräyspaperin ja -pahvin talteenotto on vuosi vuodelta tehostunut ja hyötykäyttöaste on nykyään CEPI-alueella erittäin korkea. Kokonaisuudessaan paperin ja pahvin kierrätys on tehokasta Euroopan alueella. Kuvassa 14 on esitetty paperin sekä pahvin kulutus ja kierrätysaste vuosina 1991–2007. (Bolander 2008)



Kuva 14. Paperin ja pahvin kulutus sekä kierrätysaste CEPI-alueella vuosina 1991–2007. (CEPI 2008)

3.6 Lasi

Lasin tärkeimmät käyttökohteet ovat pakkaukset, eristevilla ja ikkunalasi. Lasijätteestä osa kulkeutuu yhdyskuntajätteisiin. Lisäksi lasijätettä syntyy lasiteollisuudessa ja pakkauslasia käyttävässä elintarvike- ja kemianteollisuudessa sekä lasitusliikkeissä. Vuonna 2006 syntyi Euroopassa lähes 10,5 miljoonaa tonnia lasijätettä. Taulukossa 4 on vuoden 2006 ja 2007 tilastot Euroopassa syntyneelle lasijätteelle. Pakkausmateriaalina lasia käytetään uudelleen käytettävissä juomapakkauksissa ja pienissä määrin elintarvikepakkauksissa, jotka eivät ole kierrätettäviä vielä. Euroopassa on tehokas pullopalautusjärjestelmä, joka vähentää lasijätteen määrää erityisesti yhdyskuntajätteessä. Esimerkiksi olutpullo voidaan täyttää 20–40 kertaa ennen kuin se täytyy kierrättää materiaalina. (Huhtinen et al. 2007)

Taulukko 4. Kierrätyslasin kerätyt määrät ja kierrätysaste. (FEVE 2007)

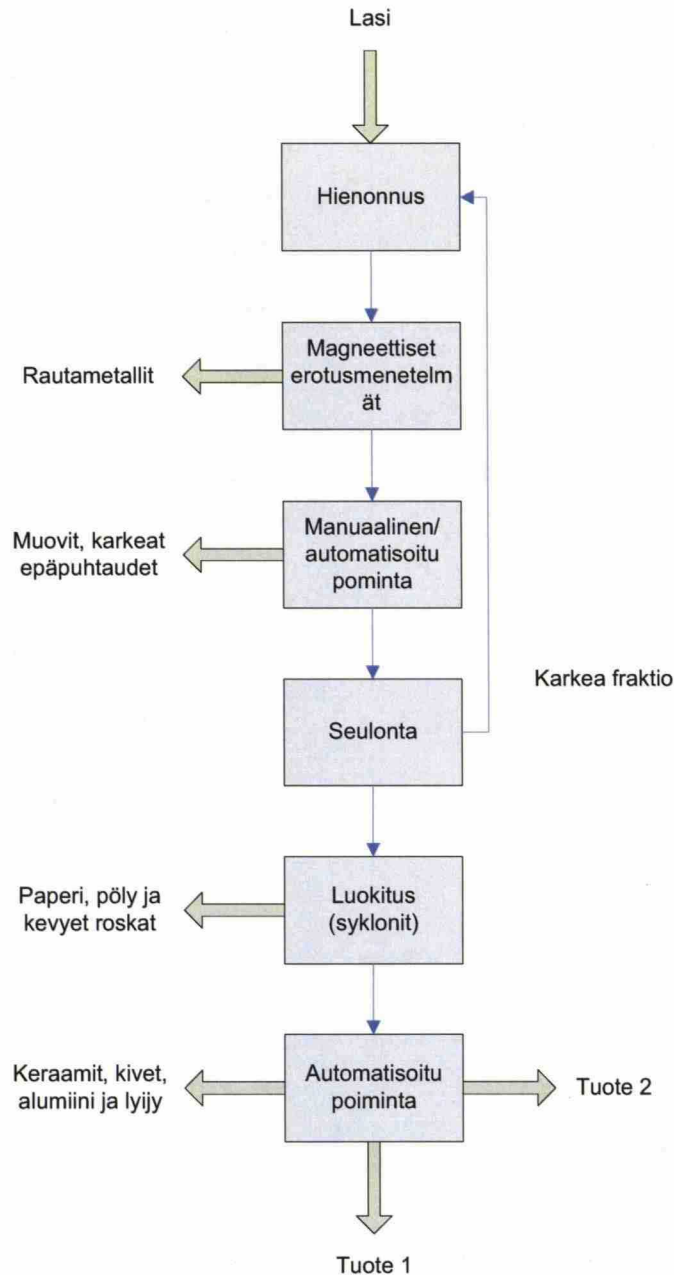
Maa	Kerätty kuutio määrä		Kierrätysaste
	2006	2007	2007
Austria	214	221	80 %
Belgium	317	289	92% (2)
Bulgaria	54	48	32% (3)
Czech Republic	142	133	50 %
Denmark	119	121	84 %
Estonia	11	n.a.	n.a.
Finland	50	54	61 %
France	1,903	1,950	61 %
Germany	2,55	n.a.	n.a.
Greece	20	26	13% (3)
Hungary	25	34	20 %
Ireland	98	n.a.	n.a.
Italy	1,256	1,303	60 %
Netherlands	432	n.a.	n.a.
Norway	53	n.a.	n.a.
Poland	270	290	26 %
Portugal	181	186	46 %
Romania	16	15	9% (3)
Slovakia	40	43	34 %
Spain	840	936	56 %
Sweden	159	171	94 %
Switzerland	308	320	95 %
Turkey	93	81	19 %
United Kingdom	1,303	1,446	55% (4)
Yhteensä	10,455		

Lasimurskeen käyttö säästää energiaa pakkauslasituotannossa. Lasin valmistuksen raaka-aineet ovat sooda, kvartsihiekkä, dolomiitti ja kalkkijauhe. Kierrätyslasimurskaa käyttämällä voidaan korvata alkuperäismateriaaleja. Yleisökeräyslasi sisältää

epäpuhtauksia, joten sitä ei voida sellaisenaan käyttää raaka-aineena. Pahimpia epäpuhtauksia ovat posliini, metallit ja kivet. Posliini ei sula lasin sulatuslämpötilassa vaan jää murusina lasikalvon pinnalle. Lasivillan valmistuksessa posliinimurska tukkii lasin kuidutukseen tarvittavat lingot ja aiheuttaa tuotannon seisokkeja ja huomattavia korjauskustannuksia. Alumiini pelkistyy reagoidessaan piin kanssa pakkauslasin tuotantoprosessissa piipalloksi, jotka näkyvät pieninä pisteinä pullojen pinnassa. Piipallot aiheuttavat myös pintajännitystä, joka heikentää pullojen paineenkestävyyttä. (Lund 1993)

3.6.1 Toimintamalli

Sekalaisen lasimurskeen kierrättämiseen käytetään mekaanisen prosessitekniikan menetelmiä. Aikaisemmin kierrätysprosesseissa käytettiin paljon käsinpoimintaa epäpuhtauksien poistamiseksi. Käsinpoimintaa on pystytty korvaamaan automaattisilla poimureilla, mutta sitä käytetään jonkin verran edelleen. Kun keräyslasista valmistetaan uutta lasia, tulee lasimurskeen puhtausasteen olla korkea.



Kuva 15. Lasimurskeen kierrätyksen lohkokaavio (MT-304-3 2007)

Lasimurskeen kierrätyksen lohkokaavio on esitetty kuvassa 15. Prosessin alussa lasimurske hienonnetaan iskumurskaimilla. Hienonnusta säädettyään päätehtävänä on välttää ylijauhautumista. Optiset erottimet eivät pysty erottamaan erittäin pieniä kappaleita. Lasi pyritään jauhamaan 10–50 mm raekokojakauman sisälle. Toinen hienonnuksen päätehtävä on vapauttaa pulloissa olevat metalliseokset, jotta ne voidaan erottaa magneetein tai metallitunnistimin. Tämän jälkeen lasista erotetaan rautametallit magneettierottimilla sekä ei-rautametallit väritunnistuksella. Lasimurske seulotaan 10–50 mm raekokoon. Seuloilta materiaali menee luokitukseen tai uudelleen hienonnukseen. Luokituksen tarkoituksena on

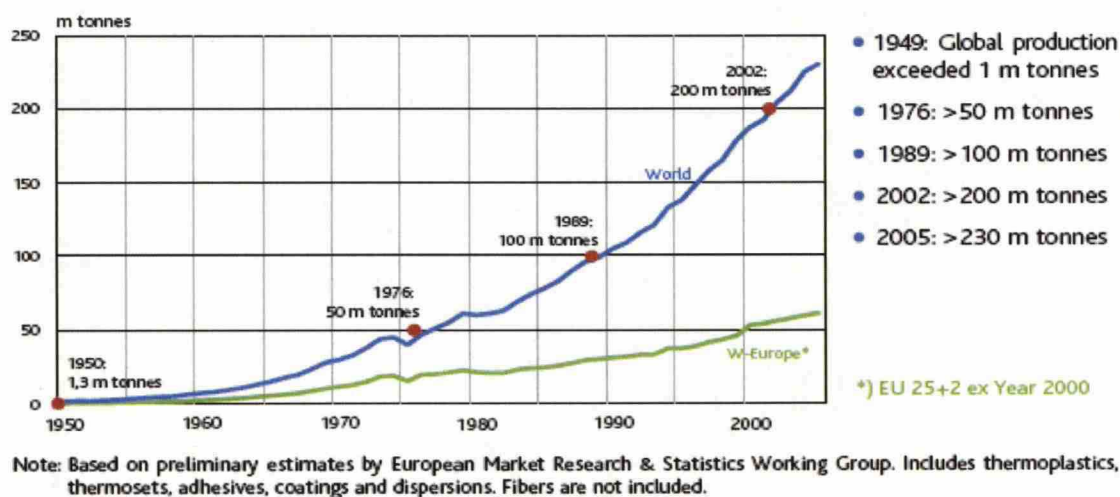
poistaa hienoaaines prosessista. Seuraavaksi tapahtuu automatisoitu poiminta, jossa lasinmurske levitetään tunnistimelle, joka erottaa valonlöpäisykyvyn mukaan opaakit, valoahelijastamattomat kappaleet, tai väritunnistuksen avulla eri väriset lasirakeet. Samanlaista laitekonstruktiota voidaan käyttää erottamaan keraamit, posliinit, kivet ja muut valoahelijastamattomat epäpuhtaudet sekä erikoistapauksissa erivärinen lasinmurske. Erotuslaite on kuvattu tarkemmin alakohdassa 4.3.7.2. (Anon 1998)

3.7 Muovit

Muovit ovat yksi monipuolisimmista materiaaliryhmistä, ja niitä käytetäänkin lähes kaikkialla. Monipuolisuuden taustalla ovat muovien loistavat perusominaisuudet, joita ovat:

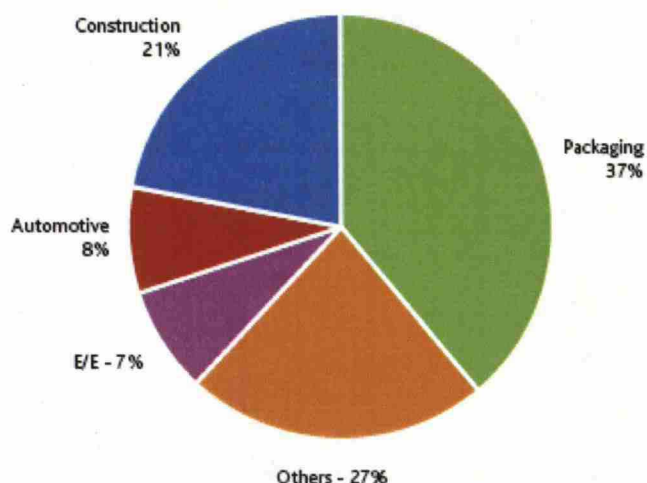
- keveys
- edulliset valmistuskustannukset
- muovattavuus
- kestävyys.

Muovien käyttö eri kulutustuotteissa on kasvanut räjähdysmäisesti viime vuosikymmenien aikana. Monipuoliset ja edulliset ominaisuudet tekevät muovista suosittua käyttömateriaalia. Muovien kulutus Euroopassa vuonna 2005 oli 57,5 miljoonaa tonnia ja koko maailmassa se oli noin 250 miljoonaa tonnia. Muovien kulutus on kasvanut tasaisesti ja sen on arvioitu kasvavan tällä hetkellä noin 4 prosentin vuosinopeudella. Kuvassa 16 on esitetty muovien kulutuksen kehitys maailmassa sekä Euroopassa. (Waste Online 2008)



Kuva 16 Muovien kulutuksen kehitys maailmassa ja Euroopassa aikavälillä 1950–2005 (EUROSTAT 2008)

Muovien käyttö jakautuu useille eri sektoreille, ja ne ovat: rakennus-, auto-, elektroniikka-, pakkaus- ja muu teollisuus. Käyttökohteet on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Muovien käyttökohteet Euroopassa vuonna 2003. (EUROSTAT 2008)

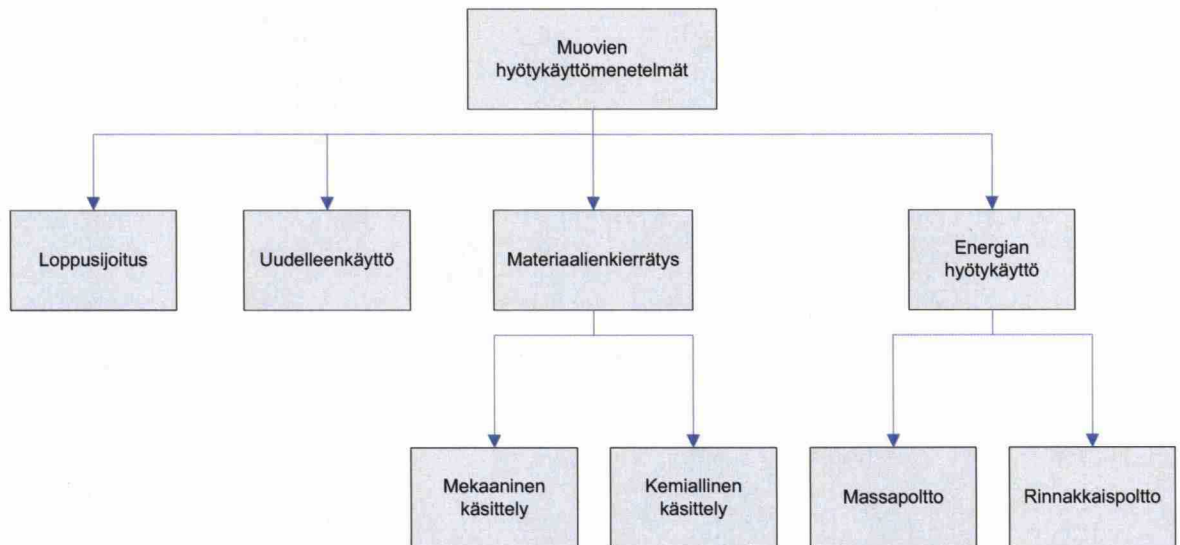
Muovien lujuuteen, edulliseen hintaan, kestävyYTEEN, pitkäikäisyyteen ja siihen että niitä käytetään paljon pakkauksissa ja muissa kertakäyttötuotteissa, liittyvät myös suurimmat ongelmat niiden kierrätyksessä ja jätehuollossa. Muovituotteet ovat jättemateriaaleina pysyviä, eikä niistä liukene haitallisia aineita kaatopaikkaolosuhteissa. Hajoamattomuutensa ja suuren määränsä (tilavuus) takia ne vaativat pysyviä loppusijoituspaikkoja ja vievät paljon tilaa, aiheuttaen näin loppusijoitus ongelmia. Ongelmien ehkäisemiseksi on mm. pienennetty muovipakkausten kokoa ja painoa. Tämän lisäksi on otettu käyttöön uudelleenkäytettäviä muovipakkauksia.

Muoveja on useita eri laatuja. Yleisellä tasolla muovit voidaan jakaa kesto- ja kertamuoveihin. Kestomuovit voidaan sulattaa uudelleen polymeereiksi ja valmistaa samanarvoista lähtötuotetta, kun taas kertamuovien uudelleen sulatuksessa ominaisuudet eivät palaudu ennalleen. Kestomuovit ovat siis kierrätettävyydeltään huomattavasti parempia. Kertamuoveja käytetään teknisiin sovelluksiin esimerkiksi elektroniikka- ja autoteollisuudessa. Suurin osa pakkausmateriaaleista on kestopuoveja. (Huhtinen et al. 2007)

3.7.1 Toimintamalli

Muoveille löytyy neljä vaihtoehtoista käsittelymenetelmää; uudelleenkäyttö, materiaalienkierrätys, energiahyötykäyttö ja loppusijoitus. Loppusijoitusta ei varsinaisesti voida mieltää hyötykäytöksi, mutta se otetaan huomioon, koska huomattava määrä

muoveista päätyy edelleen kaatopaikoille. Materiaalienkierrätys voidaan vielä erikseen jakaa mekaaniseen ja kemialliseen käsittelyyn. Energianhyötykäytöllä tarkoitetaan sekä massapolttoa että rinnakkaispolttoa. Muovin hyötykäyttömenetelmät on esitetty lohkokaaviona kuvassa 18.



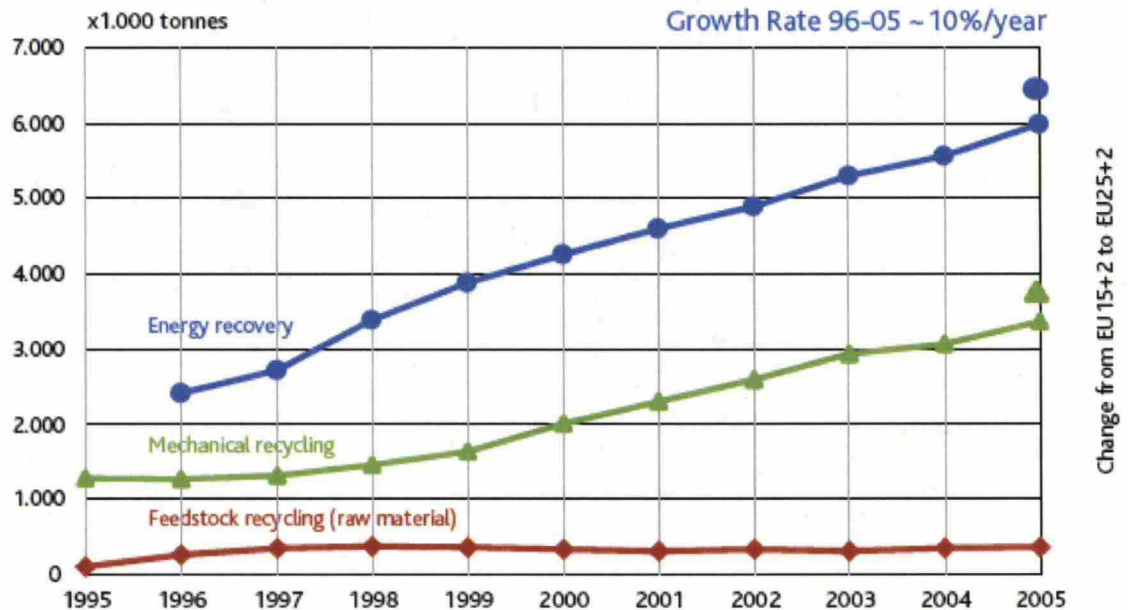
Kuva 18. Muovien hyötykäyttömenetelmät. (Laaksonen 2008)

Muovien mekaanisella käsittelyllä tarkoitetaan menetelmää, jossa jätemuoveista valmistetaan mekaanisten prosessien avulla uusia muovituotteita: lajitellut muovit puhdistetaan ja prosessoidaan tuotteiksi tai pelleteiksi. Muovien mekaanisessa käsittelyssä on sovellettu ainakin seuraavia menetelmiä: (Scheirs 1998)

- ominaispainoerotus
- elektrostaattinen erotus
- vaahdotus
- selektiivinen liuotus
- seulonta
- optiset menetelmät
- röntgenfluoresenssi.

Kierrätysprosessien suunnittelu on siirtynyt mekaanisten prosessien kehittämisestä integroitujen muovienkierrätysprosessien suunnitteluun. Tämä tarkoittaa sitä, ettei kaikkea muovia pyritä kierrättämään mekaanisesti materiaaleina, vaan saastuneelle, sekalaiselle sekä jo moneen kertaan kierrätetylle ja laadultaan heikolle polymeerille sovelletaan muita

kierrätysmuotoja kuten kemiallista käsittelyä (feedstock recycling) tai energiahyötykäyttöä. Muovijäte on lähes aina hyvin yksilöllinen laadultaan ja materiaalisisällöltään. Tämän vuoksi muovien kierrätysprosessit tulee suunnitella tapauskohtaisesti. Yleispätevää muovien kierrätysmenetelmää ei ole vielä kehitetty. Kuvassa 19 on esitetty muovien hyötykäyttömenetelmien kehityksen kulku Euroopassa vuosina 1995–2005. (Laaksonen 2008)



Kuva 19. Muovien hyötykäyttömenetelmien kehitys Euroopassa vuosina 1995–2005. (EUROSTAT 2008)

4 Laitteet ja menetelmät

Kierrätysteknologialla tarkoitetaan teknologioita, joita voidaan soveltaa kierrätystekniikan prosesseissa. Suuri osa teknisistä ratkaisuista on toteutettavissa mineraalien prosessoinnissa käytettyjen mekaanisen prosessitekniikan menetelmien ja laitteiden avulla. Jätemateriaalien prosessoinnissa käytetään hienonnusta, luokitusta ja erilaisia erotusprosesseja. Mekaanisen prosessitekniikan menetelmät tarjoavat mahdollisuuden teollisessa mittakaavassa toteutettavalle kierrätykselle. Suurin ero on esikäsittelyssä, joka on kierrätysmateriaalien prosessoinnissa huomattavasti tärkeämpää kuin mineraalien prosessoinnissa.

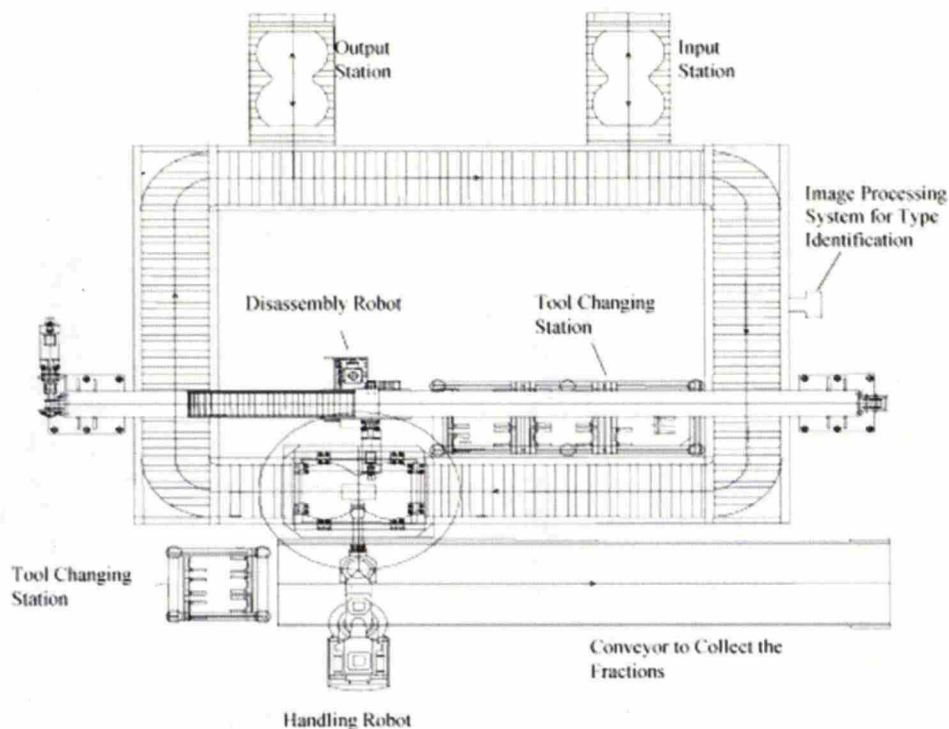
Erotusmenetelmät perustuvat seuraaviin materiaalien ominaisuuksiin:

- koko ja muoto
- ominaispaino
- sähköiset ominaisuudet
- magneettiset ominaisuudet
- optiset ominaisuudet
- pintakemialliset ominaisuudet
- alkuainekoostumus.

Kierrätyksen eri liiketoiminta-alueet ja niissä käytetyt teknologiat on esitetty liitteessä 4. Markkinatutkimuksessa esiin tulleita teknologioita ja kehitysalueita ei ole huomioitu kyseisessä taulukossa.

4.1 Esikäsittelytekniikat

Esikäsittelyllä tarkoitetaan selektiivistä lajittelua. Usein esikäsittely tarkoittaa käytännössä laitteen purkamista, jonka avulla talteenotetaan uudelleenkäytettäviä osia, poistetaan haitta-aineet ja tehostetaan kappaleen jatkoprosessointia. Purkutyö tehdään usein manuaalisesti, joten automaattinen esikäsittely on tärkeä kehityskohde. Kuvassa 20 on esitetty kuvaputkella varustettujen monitoreiden automaattinen esikäsittelylinjasto.



Kuva 20. Automaattinen esikäsittelylinjasto kuvaputken sisältäville monitoreille. (Tohka & Lehto 2004)

Purkuun liittyvät vaiheet tehdään romutusketjun alkupäässä. Autojen purkuvaiheessa yhä suurempi osuus kevyt jakeesta muodostuvista komponenteista yritetään saada talteen. Kehitystä tapahtuu paitsi purkuprosesseissa myös autojen suunnittelun ja valmistamisen sektorilla siten, että eri komponenttien kierrätys tulee jatkossa nykyistä helpommaksi. Tällöin on romutettavista autoista mahdollista poistaa yhä suurempi osa esimerkiksi muovi-, lasi- yms. komponentteja ja välttää niiden joutuminen varsinaiseen metallien talteenottoonprosessiin. Eri muovilaatujen kierrätettävyyden edellyttää tunnistusmerkintöjä ja helppoa sekä kustannuksellisesti kannattavaa purkuprosessia. Istuimien vaahtomuovi voidaan periaatteessa ottaa talteen ja kierrättää, samoin lasi ja kumiosat. Kumikomponentit voidaan jauhattuna käyttää sekundäärisissä tuotteissa, kuten kumiharkoissa. (Energetics 2001)

Ongelmana on, että purku on työvoimaintensiivistä ja siten hyvin kallista. Lisäksi uusille purun yhteydessä syntyville materiaaleille ei useinkaan ole kysyntää, joka hidastaa puolestaan automatisoidun esikäsittelyn yleistymistä. Automatisoinnin ongelmana on myös tuotteiden kompleksisuus ja valmistustekniikoiden sekä tuotesuunnittelun eroavaisuudet saman tuoteryhmän sisällä.

Esikäsittely on erittäin tärkeä vaihe erityisesti autojen ja SER:n kierrätyksessä. Myös yhdyskuntajätteiden kierrätyksessä esikäsittely on syntypaikkalajittelun muodossa tärkeää.

4.2 Hienonnustekniikat

Materiaalikierrätyksen kannattavuuden ja tehokkuuden edellytyksiä on käsiteltävien materiaalien hienontaminen sopivaan raekokoon. Ensimmäinen varsinainen mekaaninen käsittelymenetelmä on kierrätystekniikassakin usein hienonnus. Kierrätystekniikassa hienonnusta kuvaavampi termi on monessa tapauksessa kappalekoon pienentäminen (size reduction). Hienonnuksessa käytetään mekaanisessa prosessitekniikassa malmien hienonnuksen käytettyjä, tai niistä räätälöityjä paremmin kierrätystekniikkaan soveltuvia laitteita. Hienonnuksen tarkoituksena on saada materiaali niin hienoksi, että arvoaineet saadaan eroteltua matriisista. Hienontaminen parantaa myös materiaalien käsiteltävyyttä, joka voi olla edellytys seuraavan prosessivaiheen, kuten kemiallinen kierrätys, kompostointi ja energiahyötykäyttö, onnistumiselle. (Wills et al. 2006)

Mineraalitekniikassa puhtaaksijauhautusasteeksi kutsutaan puhtaina rakeina esiintyvän mineraalin prosenttiosuutta saman mineraalin kokonaismäärästä. Samaa määritelmää voidaan käyttää kierrätystekniikassakin. Kierrätettävien materiaalien puhtaaksijauhatusasteeseen vaikuttavat useat seikat, kuten: (Nijkerk & Dalmijn 2001)

- romumateriaalin laatu
- metallipitoisten tuotteiden rakenne, esimerkiksi. seinämäpaksuus ja liitokset
- murskaimen mekaaninen toimintaperiaate
- murskaimen intensiteetti ja nopeus
- romun komponenttien lämpötila murskaushetkellä.

Mineraalien- ja kierrätysmateriaalien hienonnus eroavat toisistaan lähinnä kahdella tavalla. Mineraaleja hienontaessa syöte on useimmiten erittäin homogeenista sekä lähestyy murtumiskäytökseltään yleensä haurasmurtumaa, jolloin hienonnuksen käytetty voima voi olla iskuun, puristukseen tai hiertoon perustuvaa. Kierrätettävien materiaalien ja tuotteiden hienontamisen ongelmana on syötteen heterogeenisuus. Erilaisia materiaaleja on yhdistelty vapaasti, eikä tuotteita ole suunniteltu hienontamisen ehdoilla. Hauraille ja tasalaatuisille kierrätysmateriaaleille, kuten maa-ainekselle, betonille ja asfaltille, soveltuvat mineraalitekniikasta tutut murskaimet. Materiaaleille kuten metalliromu sekä erilaisille

tuotteille, jotka sisältävät erittäin heterogeenisen materiaalijakauman on jouduttu kehittämään uusia murskaintyypppejä. Nämä hienontavat eri materiaaleja, niin kovat kuin pehmeät, mutta pystyvät silti riittävään puhtaaksijauhatukseen. Kompleksisissa tuotteissa erilaiset kuitumaiset materiaalit sekä esimerkiksi kaapelit aiheuttavat muotonsa ja sitkeytensä takia ongelmia murskaimille. Ennen hienonnusta kompleksisille tuotteille ja materiaaleille onkin syytä tehdä hienonnuksen tehokkuuden optimoimiseksi luokitus sekä esikäsittely. (Beenken 1992)

4.2.1 Murskaimet ja shredderit

Shredderit muodostavat kierrätystekniikassa oman ryhmänsä, johon voidaan luokitella useimmat kierrätystekniikassa käytetyt rumpumaiset, pyörivät hienonnukslaitteet. Shredderit ovat vasaramurskaimesta tehty sovellus, ja ne ovat samalla eniten käytetty murskaintyyppi kierrätysmateriaalien hienonnuksessa. Shredderit voidaan kokonsa puolesta jakaa neljään eri luokkaan, jotka ovat: (Nijkerk & Dalmijn 2001)

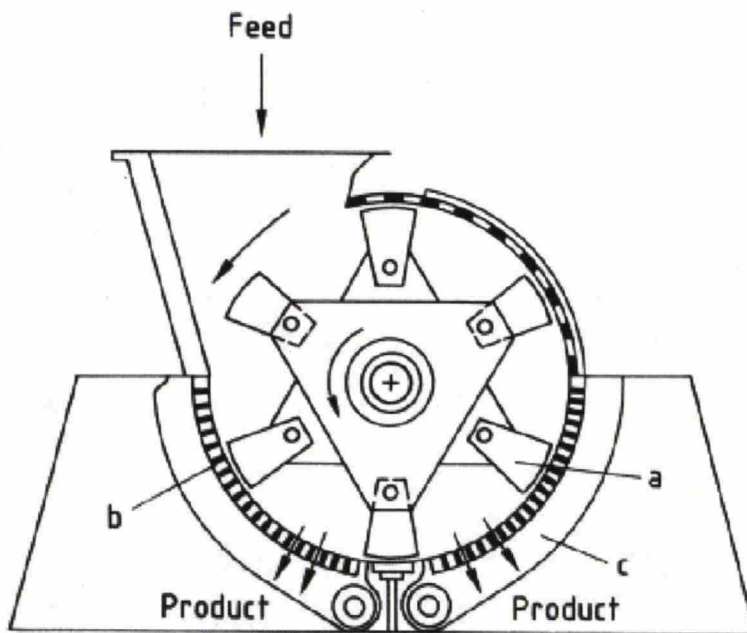
- pienet shredderit, joissa on kaksi pyörivää leikkuriterillä varustettua telaa, joiden välitse materiaalia ohjataan. Laitteet toimivat kuten pienet roottorirepimet. Murskausteho on max 250 kW ja kapasiteetti sadoista kiloista muutamaan tonniin vuodessa
- keskikokoisissa shreddereissä roottoriin on asennettu vapaasti pyörivät vasarat tai iskurenkaat murskausta varten. Murskausteho on 250–750 kW ja kapasiteetti 10 000–40 000 tonnia vuodessa
- suuret shredderit eroavat keskikokoisista ainoastaan tehonsa puolesta. Suuriin shreddereihin kuuluu suurin osa autonmurskaukseen käytetyistä shreddereistä. Murskausteho on 750–2200 kW ja kapasiteetti 40 000–150 000 tonnia vuodessa
- erittäin suuret shredderit toimivat samalla tavalla kuin suuret, ero syntyy kapasiteetin ja tehon suhteen. Murskausteho on yli 2200 kW ja kapasiteetti jopa 600 000 tonnia vuodessa.

Keskikokoisia ja suuria shreddereitä kutsutaan autonromu-shreddereiksi tai vasaramurskaimiksi. Suurten shreddereitten suosio on selvässä kasvussa ja teknologiatoimittajat kilpailevatkin jatkuvasti suurimman shredderivalmistajan asemasta. Suurimmat shredderit ovat tällä hetkellä noin 7400 kW:n teholuokassa ja niitä valmistaa

Metso Lindemann, Newell Riverside ja Lynx. Suurimman kokoluokan shreddereitä on maailmassa noin 10 – 15 kpl. (Vikman 2008)

Shredderissä materiaalin murskautuminen tapahtuu seuraavalla tavalla: Ensin nopeasti pyörivät vasarat hienontavat materiaalin alasinta tai rikkovaa tankoa vasten, joka paloittelee materiaalin. Tämän jälkeen vasarat siirtävät materiaalia mukanaan vuorausta ja iskulevyjä vasten kunnes materiaali hienontuu niin hienoksi, että se läpäisee seulassa olevat aukot. Kuvassa 21 on esitetty shredderin toimintaperiaate. (Lund 1993)

- a. iskuvasara
- b. seula
- c. kammio



Kuva 21. Vasaramurskaimen toimintaperiaate. (MT-304-3 2007)

4.2.2 Jauhatus

Jauhatuksella tarkoitetaan mineraalien hienontamisen loppuvaihetta. Siinä jauhettava aine hienonnetaan joko rikastusprosessin tai tuotteen muun käyttötarkoituksen edellyttämään raekokojakautumaan, puhtaaksijauhatusastetta tai ominaispinta-alaa vastaavaksi. Puhtaaksijauhatusaste riippuu jauhettavan aineen rakenteesta, prosessimenetelmästä tai jauhamalla valmistettavan tuotteen raekoko- tai ominaispinta-ala vaatimuksesta.

Jauhatus on prosessiteollisuuden tärkeimpiä yksikköprosesseja. Se käsittelee suuria ainemääriä, palvelee monia erilaisia teollisuuden aloja ja edustaa erittäin suurta energian kulutusta.

Jos syöte jauhetaan kelvottomasti, koko prosessin onnistuminen on epätodennäköistä. Onnistunut jauhatus ei yksinään takaa hyvää rikastustulosta, mutta antaa mahdollisuudet sen saavuttamiseksi. Jos rikastusprosessin syöte jauhetaan liian karkeaksi, saadaan sekarakeiden vuoksi huono rikaste ja huono jäte. Liian hieno jauhatusaste puolestaan kuluttaa tarpeettomasti energiaa ja usein vaikeuttaa rikastamista. Jauhatusmekaniikan tärkein sovellus on myllyt.

Kierrätystekniikassa jauhinmyllyjä on sovellettu esimerkiksi yhdyskuntajätteiden käsittelyyn. Myllytyyppinä on käytetty lähinnä sovellusta kaskadimyllystä ts. SAG-myllystä. Samuli Nikulan (2004) diplomityö ”Mechanical Treatment of Municipal Solid Waste” käsittelee kyseistä aihetta kattavasti. Työssä tutkitaan kuulamyllyn toimintaa yhdyskuntajätteen mekaanisessa esikäsittelyssä. Kuulamyllyn merkittävin etu muihin jätteenkäsittelymenetelmiin verrattuna on tuotteen hyvä laatu. Kuulamylly hienontaa jätteen selektiivisesti, jolloin eri materiaalit päätyvät eri partikkelikokoluokkiin.

4.2.2.1 Granulointi

Granulointia käytetään kierrätystekniikassa lähinnä muovien hienojauhamiseen. Muovit täytyy jauhaa hienompaan raekokoon jatkoprosessointia varten. Yleensä muovien hienonnus tapahtuu monivaiheisesti. Ensin muovi hienonnetaan roottorileikkurilla, seuraavaksi tapahtuu granulointi leikkurimyllyssä ja tämän jälkeen muovit vielä pulverisoidaan. Myös muille materiaaleille, kuten kumirouheelle käytetään hienojauhatusta mikäli halutaan arvokas materiaalifraktio talteen kokonaan. Mitä hienommaksi materiaali jauhetaan, sitä tarkemmaksi erotus muodostuu eri komponenttien välillä. Leikkurimylly on yleisin muovien granulointiin käytetty laite. Leikkurimyllyssä pyörivät leikkainterät hienontavat muovikappaleita kiinteitä, murskausrummun ulkokuorella olevia teriä vasten. Leikkuriterien asentoa ja etäisyyttä säätämällä saavutetaan haluttu hienoksijauhatus sekä voidaan kontrolloida energiankulutusta. (Tu Delft 2004)

Pulverisointimyllyjä käytetään muuntamaan puhdas muovigranulaatti hienoksi jauheeksi. Pulverisointia käytetään myös silloin kun epäpuhtauksia ei saada muuten eroteltua. Pulverisoidun polymeerijauheen ominaisuuksia ovat: (Lund 1993)

- hyvät virtausominaisuudet

- korkea tiheys
- kapea partikkelikokojakauma
- homogeeninen koostumus.

Pulverisointimyllyjä, kuten levymyllyjä, käyttämällä saadaan keskimääräiseksi raekokojakaumaksi alle 50µm. Levymyllyt soveltuvat erityisesti pehmeiden muovien kuten polyeteenin (PE) pulverisointiin. Levymyllyssä hienontuminen tapahtuu väännön, leikkauksen ja iskun yhdistelmänä hienonnuslevyjen välissä.

Granulointi- ja jauhatuslaitteita käytetään kierrätystekniikassa pääasiallisesti juuri muovi- ja kumijätteen hienojauhatukseen. Esimerkiksi kaapeleita voidaan hienojauhaa eri granulointi menetelmiä. (Nijkerk & Dalmijn 2001)

4.3 Erotustekniikat

Tyypillisiä kierrätystekniikassa käytettyjä käsittelymenetelmiä ovat metallien erotus muista materiaaleista, rautametallit/ei-rautametalli, eri kevytmetallien erottaminen toisistaan, muovien erottaminen muista materiaaleista tai toisistaan, lasinerotus- ja puhdistus sekä paperin ja pahvin prosessointi.

4.3.1 Luokittimet

Luokituksella tarkoitetaan menetelmää, jonka avulla hienojakoinen mineraaliseos lajitellaan kahteen tai useampaan jakeeseen sen nopeuden perusteella, jolla partikkelit vajoavat ilmassa, vedessä tai sellaisessa väliaineessa, jonka ne muodostavat veden tai ilman kanssa.

Ilmaluokituksessa eli pneumaattisessa menetelmässä hienojakoinen materiaali lajitellaan kahteen tai useampaan jakeeseen sen nopeuden perusteella, jolla rakeet vajoavat ilmassa. Rakeiden vajoamisnopeus riippuu niiden koosta ja muodosta. Ilmaluokittimet voidaan jakaa keskipako- ja painovoimaluokittimiin. Painovoimaluokittimet voidaan edelleen jakaa vastavirta-, poikkivirta- ja sik-sak -luokittimiin toimintaperiaatteensa mukaan. Luokitusta käytetään kierrätystekniikassa: (Lukkarinen 1985)

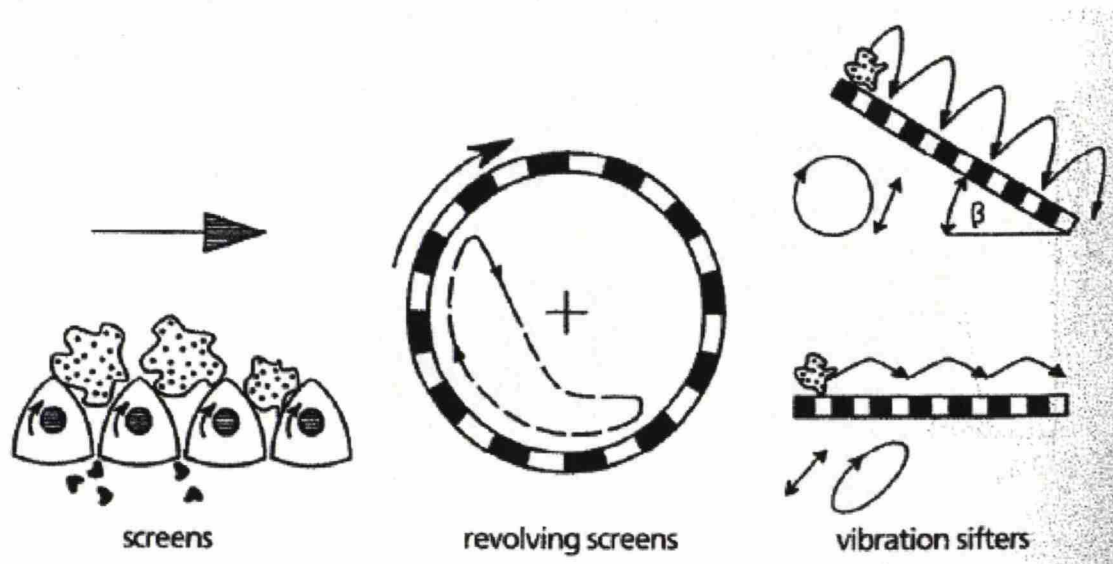
- erottamaan kevyt aines kuten puu, paperi ja muovi rakennusjätteestä
- erottamaan kompostoitavissa oleva hienoaaines yhdyskuntajätteestä
- erottamaan muovi ja muu kevytaines shredderjätteestä.

Pneumaattisista keskipakoluokittimista sykloneja käytetään yleisesti ainakin kaapeli- ja johdinromun teolliseen erotukseen. Ilmaluokitus soveltuu hyvin myös pelkän hienonnetun muovijätteen erotukseen. (Lukkarinen 1985)

4.3.2 Seulonta

Kierrätystekniikassa seulontaa käytetään sekä raekoon mukaiseen luokitukseen että eri materiaalien erotukseen toisistaan. Luokituksessa seulan tehtävänä on erottaa seulottava aines raekoon mukaisiin fraktioihin. Seulontaa käytetään luokittamaan materiaalia seuraavissa sovelluksissa: (Wills et al. 2006)

- haluttaessa myyntivalmistuote, jonka ominaisuudet määräytyvät raekoon mukaan
- materiaalin jako hienoon ja karkeaan fraktioon materiaalin jatkokäsittelyä varten
- vedenpoistoon materiaalista jatkokäsittelyä varten.



Kuva 22. Eri seulontamenetelmien toimintaperiaatteita. (MT-304-3 2007)

Kuvassa 22 on esitetty yleisimmät seulontamenetelmät ja niiden toimintaperiaate. Kiinteä erotussäleikkö on yksinkertaisin seulatyyppi. Sen muodostaa joukko yhdensuuntaisia, joskus materiaalin menosuuntaan harittavia, sopivaan kaltevuuteen tukevasti asetettuja palkkeja. Raskas materiaali pysyy palkkien päällä ja kevyt erottuu niiden välistä. Säleikköerotus sopii erittäin karkean jakeen erottamiseen. Rumpuseulassa sylinterin muotoinen seula, jonka pinnassa on eroteltavan kappalekoon kokoisia reikiä, pyörii akselinsa ympäri tasaisella pyörimisnopeudella. Suurempi kappalekoko jää rumpuseulan sisään ja pienempi kulkeutuu reistä ulos. Tärysäleikössä säleikköön kohdistetaan täryliike

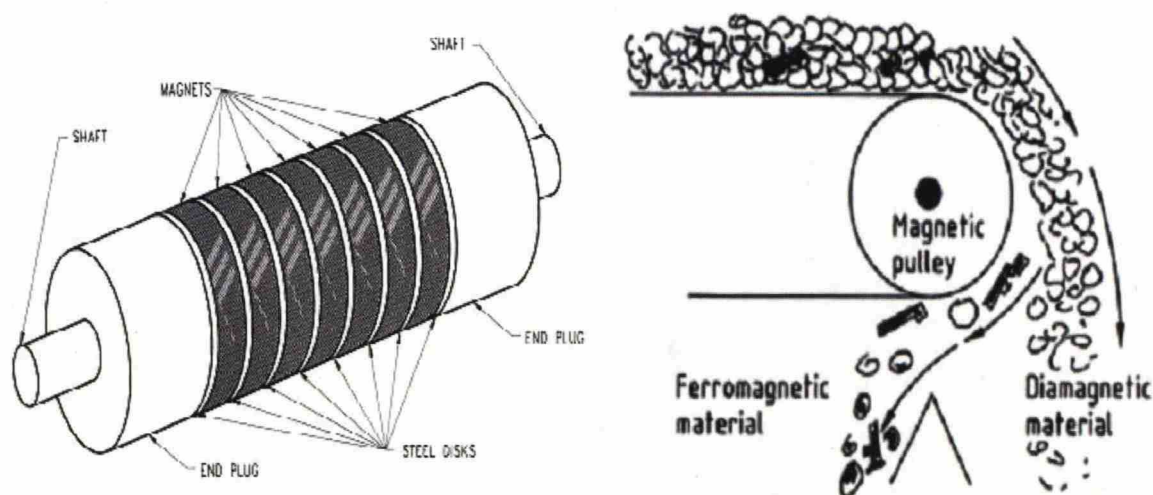
muototekijän poistamiseksi ja luokittumisen tehostamiseksi. Täriseulat voidaan luokitella seulan täriliikkeen aiheuttamismekanismin mukaisesti: (Lukkarinen 1985)

- epäkeskoseulat
- vapaavärähteiset seulat
- resonanssi seulat
- sähkömagneettiset seulat.

Kierrätystekniikassa rumpuseuloja käytetään esimerkiksi murskatun rakennusjäteromun lajittelemiseksi jakeisiin. Rumpuseuloja kutsutaan usein trommel-seuloiksi. Täriseuloja käytetään esimerkiksi autonromun murskauksen jälkeen saadun murskatunjakeen lajitteluun ja hienonnetun SER:n sekä kaapeleiden erotukseen. Täriseulat soveltuvat huonosti kaapeleita sisältävän jakeen lajitteluun, sillä kaapelit tarttuvat seulaan kiinni ja heikentävät lajittelun saantia.

4.3.3 Magneettisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät

Magneettierotusta käytetään ferromagneettisten metallien (Fe, Co, Ni) sekä niiden metalliseosten erottamiseen muista metalleista sekä ei-metallisista materiaaleista. Magneettierotimissa eroteltava materiaali viedään magneettikenttään, jossa kentän vaikutuksesta magneettiset materiaalit, kuten rauta, varautuvat magneettisesti. Kuvassa 23 on esitetty magneettierottimen rakenne ja toimintaperiaate. Laitteissa käytettävät magneetit voidaan lajitella kesto- ja sähkömagneetteihin.



Kuva 23. Magneettierottimen rakenne ja toimintaperiaate. (MT-304-3 2007)

Sähkömagneetteja käytetään levymagneeteissa, joilla nostetaan ja liikutellaan rautaromua. Sähkömagneettien käyttö näissä sovelluksissa perustuu siihen, että magneetti voidaan kytkeä pois päältä niin haluttaessa. Lisäksi magneettikentän voimakkuus voidaan säätää halutuksi käyttötarkoituksen mukaan. Kestomagneetit ovat magneettisista metalleista tai jauheista valmistettuja metalliseoksia, joihin muodostuu pysyvä magneettikenttä. Kestomagneettien käyttämiseen ei vaadita energialähdettä. Ne eivät tarvitse ylläpitoa eivätkä huoltoa, ja niissä oleva magneettikenttä on pysyvä. Kestomagneetteja käytetään rautametallierottimissa sekä ei-rautametallien erotukseen käytetyssä pyörrevirtaerottimessa, jossa kestopymagneetti on asennettu erotusrumpuun magneettikentän aikaansaamiseksi. (Nijkerk & Dalmijn 2001)

Magneettierotin on yleisimpiä erotusmenetelmiä kierrätysprosesseissa. Ylitenauha-, rumpu- ja rullamagneetteja käytetään eniten rautametallien poistoon erilaisissa sovelluksissa, mistä yleisimpinä voidaan mainita metallin kierrätyksen shreddermurske, elektroniikkamurske, yhdyskuntajäte, lasimurskeen esipuhdistus sekä rakennusjätteen puhdistus rautametalleista. Levymagneettia käytetään erityisesti romupihoilla magneettisen romun siirtelyyn ja syöttöön esimurskaimille. Magneettisäleikköjä käyttämällä voidaan puhdistaa myös hienoainesta sisältävää rautametalliromua.

4.3.3.1 Pyörrevirtaerotus

Pyörrevirtaerotin eli eddy-current (EC) erotin on erityisesti kierrätysprosesseihin suunniteltu laite. Sen toiminta perustuu nopeasti vaihtelevaan magneettikenttään. Johtavan kappaleen kulkiessa nopeasti vaihtelevan magneettikentän läpi siihen indusoituu jännite, joka synnyttää kappaleessa pyörrevirtoja. Pyörrevirrat puolestaan aiheuttavat ympärilleen magneettikenttiä, jotka vastustavat indusoivaa, ulkoista magneettikenttää. Ulkoisen magneettikentän ja pyörrevirtojen synnyttämän magneettikentän hylkiessä toisiaan syntyy Lorentzin voima, työntövoima, jonka vaikutuksesta johtava kappale sinkoutuu pois ulkoisesta magneettikentästä.

Tärkeimpiä materiaalilähtöisiä parametreja pyörrevirtaerotuksessa ovat: (Zhang et al. 1999)

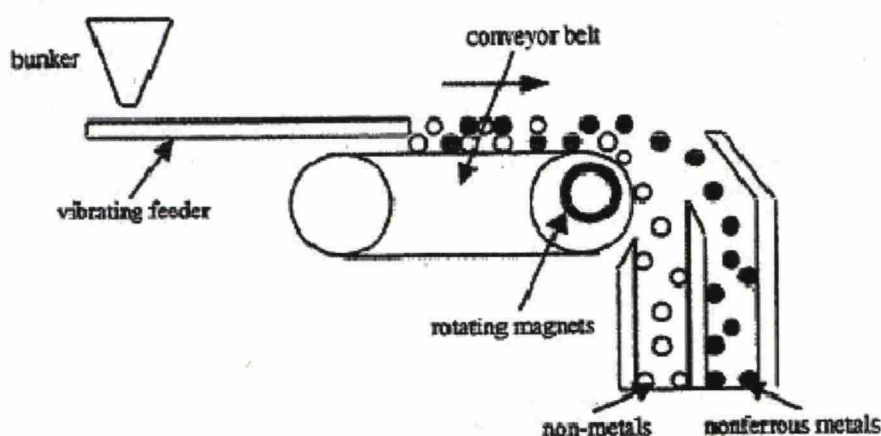
- partikkelikoko
- partikkelin muoto
- sähkönjohtavuuden/tiheyden suhde (δ/ρ).

Modernit pyörrevirtaerottimet ovat rumputyypisiä. Vetopyörän sisällä olevaan sylinterimäiseen magneettirumpuun on sijoitettu kestmagneetteja navat vastakkain, jolloin nopeasti pyörivä magneettirumpu saa aikaan nopeasti vaihtelevan magneettikentän. Erotusvoima syntyy magneettien liikkeestä. Pyörrevirtaerottimen rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 24.

Pyörrevirtaerotus ei sovellu erittäin pienen raekoon omaavan syötteen erotukseen. Pieniin kappaleisiin ei synny tarpeeksi suurta työntövoimaa, jolloin haluttua erotusta ei pääse syntymään. Onnistuneen erotuksen aikaansaamiseksi raekoon tulee olla vähintään 5 mm. (Tohka & Lehto 2004)

Kierrätystekniikassa pyörrevirtaerotinta voidaan pitää ns. standardilaitteena, jota käytetään yhä enemmän värimetallien erottamiseen muusta materiaalista. Pyörrevirtaerotuksen sovelluksia käytetään mm. (TU Delft 2004)

- alumiinin erottamiseen autonromusta syntyvästä ei-magneettisesta jakeesta
- alumiinitölkkien erottamiseen yhdyskuntajätteestä
- ei-magneettisten metallien erottamiseen pohjatuhkista
- lyijyn ja kuparin erottamiseen kaapeliromusta
- ei-magneettisten metallien erottamiseen SER:sta.



Kuva 24. Pyörrevirtaerottimen rakenne ja toimintaperiaate. (MT-304-3 2007)

4.3.4 Sähkönjohtavuuteen ja sähköisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät

Elektrostaattinen erotus perustuu materiaalien erilaisiin sähköisiin ominaisuuksiin. Materiaalit voidaan jakaa johteisiin, puolijohteisiin sekä eristeisiin. Erilaisen sähkönjohtokyvyn omaavat partikkelit tai kappaleet varautuvat erimerkkisesti tai niiden varautuminen on niin erisuuruista, että niiden mekaaninen erottaminen on mahdollista. Erotuksen perusedellytys on, että erotettavat partikkelit tai kappaleet ovat sähkönjohtokyvyltään erilaiset. Tällöin partikkelit varautuvat erimerkkisesti tai niiden varausero on tarpeeksi suuri, jotta ne voidaan erottaa toisistaan sähkökentässä. Johde menettää heti varauksensa ja irttaa elektrodista mutta eriste tarttuu elektrodin pintaan. Puolijohde käyttäytyy siltä väliltä.

Erotusteknillisenä menetelmänä elektrostaattinen erotus on mielenkiintoinen, koska se mahdollistaa esimerkiksi saman tiheyden omaavien materiaalien erotuksen. Erotuksessa ei tarvita myöskään kemikaaleja, ja prosessointi tapahtuu kuivana. Nämä, varsinkin jälkimmäiset ovat molemmat sellaisia ominaisuuksia, jotka tulevat jatkossa olemaan entistä tärkeämpiä ympäristöystävällisyyden kannalta. (MT-304-3 2007)

Erotettavat materiaalipartikkelit voidaan varata jollakin seuraavista tavoista: (Zhang et al. 1999)

- kontaktin avulla
- influenssin avulla
- koronakentässä ionipommituksella
- kitkan avulla
- lämmön tai paineen aiheuttamana, ns. pyro- pietsosähköisyys
- sähkömagneettisen säteilyn avulla.

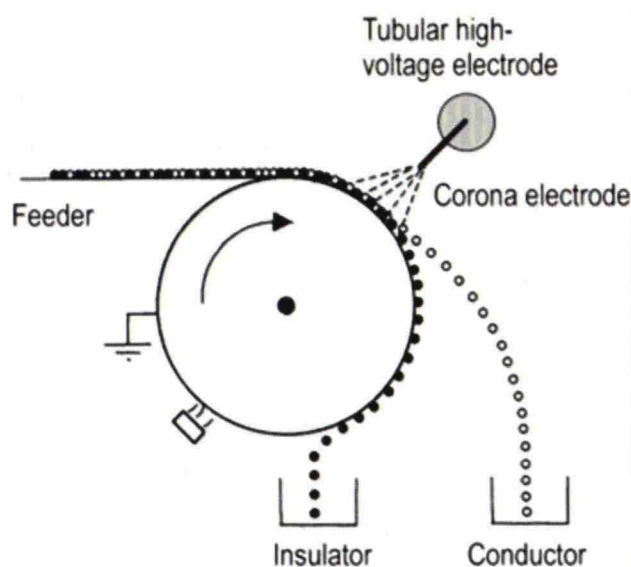
Erotintyyppit perustuvat luonnollisesti edellä kuvattuihin varautumisilmiöihin ja niiden hyödyntämiseen. Vanhimmat erottimet ovat induktioerottimia, joiden toiminta perustuu partikkelien erilaiseen polarisoitumiseen sähkökentässä. Kierrätystekniikassa yleisimmin käytetty elektrostaattinen erotin on koronapurkaukseen perustuva erotin eli koronaerotin. Toinen kierrätystekniikassa käytetty elektrostaattinen erotin on hankaussähköön perustuva erotin ts. triboelektrostaattinen erotin.

Elektrostaattisella erotuksella voidaan erottaa johtavia ja ei-johtavia materiaaleja toisistaan. Kierrätysteollisuudessa metallien ja ei-metallien erotus onkin melko tavanomainen sovellus.

Mineraaliteollisuudessa elektrostaattista erotusta on sovellettu laajassa mittakaavassa vain muutamien mineraalien erotukseen, koska vaahdotuksen on katsottu soveltuvan monien mineraaliesiintymien hyödyntämiseen paremmin. Kierrätysteollisuudessa elektrostaattisella erotuksella on muutamia sovelluskohteita, joita käsitellään tarkemmin alakohdissa 4.3.4.1 ja 4.3.4.2. (Zhang et al. 1999)

4.3.4.1 Koronaerotin

Koronaerotus sopii hienoksi jauhetulle metalli- ja ei-metalliromulle, jota ei voida erottaa pyörrevirtaerottimen avulla. Raekoko syötteelle tulee olla välillä 0,072–12,5 mm (eForce 2008). Laitteen toiminta perustuu koronaelektrodin luomaan varaukseen, joka varaa kaikki kappaleet negatiivisesti, riippumatta niiden sähkönjohtokyvystä. Varauksen voimakkuus riippuu kentänvoimakkuudesta, partikkelin koosta ja muodosta, sekä erotettavien komponenttien eristevakiosta. Koronapurkauksen ulkopuolella sähköäjohtamattomat kappaleet (ei-metallit) tarttuvat rumpuun säilyttäen varauksen. Metallien, kuten alumiinin ja kuparin, varaus sen sijaan siirtyy rumpuun, ja niihin indusoituu vastakkaismerkkinen, hylkivä varaus, jolloin ne irtoavat rummusta. Rumpu voidaan varata staattisella kenttäelektrodilla, jolloin metallikappaleiden hylkimisvaikutus korostuu ja erotus tehostuu. Kuvassa 25 on esitetty koronaerottimen toimintaperiaate. (Pajunen 1998)



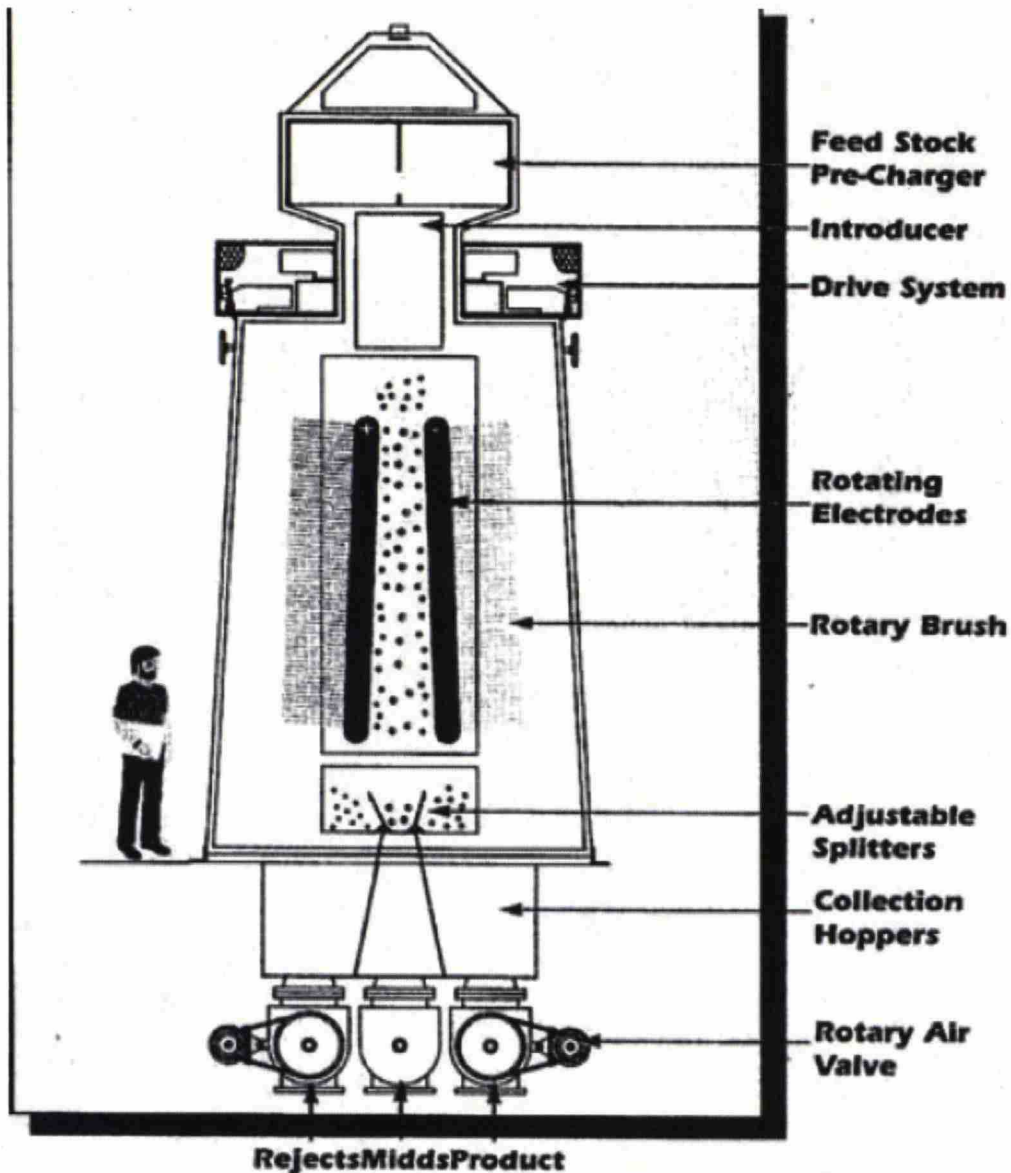
Kuva 25. Koronaerottimen toimintaperiaate. (Tohka & Lehto 2004)

Koronaerottimia on käytetty mineraaliteollisuudessa 1960-luvulta lähtien, esimerkiksi titaanimineraalien erottamiseen sivumineraaleista. Kierrätysteollisuudessa yleisin sovellutus on metallien ja muovien erotus toisistaan. Tästä esimerkkinä voisi olla kaapeliromun erotus, jossa saadaan erilleen metallit (pääosin kuparia ja alumiinia) ja eristemuovit. Myös piirilevyjen kierrätyksessä voidaan käyttää koronarumpuerotinta; se sopii hyvin metallien rikastukseen murskatuista piirilevyistä. Pahvitölkeissä käytettävät muovit ja alumiini voidaan niin ikään erottaa koronaerottimella. Lisäksi koronaerotusta on kokeiltu tuhkien, lietteiden ja jalometallien kierrätyksessä. (Stewart 2008)

4.3.4.2 Triboelektrostaattierotin

Mikäli partikkelit saatetaan hankautumaan toisiaan tai sopivaa alustaa vasten, varautuvat ne triboelektrisesti eli hankaussähköisesti. Kun varautuneet partikkelit tämän jälkeen johdetaan staattiseen sähkökenttään, poikkeavat ne eri suuntiin fysiikan lakien mukaan; positiivinen elektrodi vetää puoleensa negatiivisesti varautuneita partikkeleita ja päinvastoin. Triboelektrostaattiset erottimet ovat useimmiten vertikaalisia free fall -erottimia. Hankaussähköisesti varautuneet partikkelit pudotetaan vapaasti pystysuoraan kahden erimerkkisesti varatun elektrodin väliin. Partikkelit liikkuvat sivusuunnassa sähköstatiikan lakien mukaan: positiivinen elektrodi vetää puoleensa negatiivisesti varautuneita partikkeleita ja päinvastoin. Free fall -erottimen etuja ovat muun muassa hyvä kapasiteetti, alhaiset ylläpitokustannukset ja se, että erotus tapahtuu kuivana ilman vettä. Haittapuolena voidaan pitää sitä, että painovoiman vaikutusta partikkeleihin ei voida kontrolloida. Etenkin pienet partikkelikoot ja heikot varaukset voivat johtaa siihen, että erotusalueen on oltava

pitkä. Kuvassa 26 on esitetty free fall -erottimen rakenne ja toimintaperiaate. (Tohka & Lehto 2004)



Kuva 26. Free Fall -erotin ts. triboelektrostaattierotin. (MT-304-3 2007)

Triboelektrostaattisen erotuksen avulla voidaan näin erottaa toisistaan eristemateriaaleja, joiden sähköiset ominaisuudet poikkeavat toisistaan, kuten esimerkiksi eri muovilaaduilla. Yleisin sovellus eri muovilaatujen erotuksessa on PET- ja PVC-muovien erotus. (Zhang et al. 1999)

4.3.5 Ominaispainoeroihin perustuvat menetelmät

Ominaispainoeroihin perustuvassa erotuksessa kappaleet erotetaan niiden tiheyserojen perusteella. Erotustehokkuus on riippuvainen väliaineen ominaisuuksista kuten

viskositeetista, ominaispainosta, raekoosta sekä eroteltavien kappaleiden puhtausasteesta ja tiheyseroista. Ominaispaineerotus toimii parhaiten tarkasti kontrolloidulla syötteen raekokoalueilla, samoin kuin luokitus kapealla tiheyseroalueella.

Erilaisia ominaispainoeroihin perustuvia erotusmenetelmiä ovat mm. sink-float ts. upotuskellutus –erotukseen perustuvat erottimet, hytkyttimet, jiggit, tärypöydät, erotusrännit sekä syklonit. Kierrätystekniikassa tyypillisiä ominaispainoerottimia ovat sink-float, syklonit, pneumaattiset hytkyttimet ja tärypöydät.

Sink-float -erotus tapahtuu fluidin avulla, jonka tiheys on erotettavien komponenttien välillä. Tällöin raskaammat materiaalit vajoavat ja ominaispainoltaan kevyemmät kelluvat ja ovat erotettavissa. Erotusväliaineina käytetään nesteitä, kiintoainesvesisuspensiota ja ilmasuspensiota. Erilaisia suspensiotyyppejä on monia, mutta yleisimpiä käytettyjä suspensioita ovat magneetti-, lyijyhohde-, lyijyoksidi- ja piirautasuspensiot. Sink-float -erotusta käytetään yleisesti erottamaan ei-rautametallit murskatusta tuotteesta.

Syklonit ovat yleisesti käytetty erotusmenetelmä kierrätystekniikassa. Se on menetelmänä melko halpa ja prosessina yksinkertainen. Menetelmä perustuu ilmavirtauksen perusteella tapahtuvaan erotukseen, jossa kevyt aines kulkeutuu ilmavirran mukana ja raskas aine jää kuljettimelle tai tärypöydälle. Erotukseen vaikuttavia parametreja ovat koko, tiheys ja kappaleen muoto. Menetelmää käytetään mm. kevyt aineen erottamiseen murskatusta tuotteesta.

Pneumaattisen tärypöydän toiminta perustuu leijukerrosilmiöön, jonka avulla rakeet saadaan järjestymään eri kerroksiin. Sen toiminnassa on samoja piirteitä kuin ilmaluokittimissa, leijukerroserottimissa ja märällä tärypöydällä. Ilmapöydällä tapahtuvan erotuksen mekanismi on monimutkainen, sitä ei ymmärretä vielä täydellisesti. Pneumaattisen tärypöydän kapasiteetti on suurempi kuin märän tärypöydän. Tämä johtuu siitä, että ilman viskositeetti on huomattavasti pienempi kuin veden, minkä ansiosta partikkeleiden kerrostuminen pneumaattisella tärypöydällä on nopeampaa, ja pöytäpinnalla liikkuviin rakeisiin kohdistuva liikevastus on pienempi. Kuivaerotuksen haittapuolena on erotuksessa syntyvä pöly. Pneumaattista tärypöytää on sovellettu esimerkiksi SER ja kaapeleiden kierrätyksessä.

Pneumaattinen hytkytin on samantyyppinen ominaispaineerotin kuin pneumaattinen tärypöytä. Pneumaattisessa hytkyttimessä puhalletaan ilmaa jaksottaisesti seulapinnan läpi alhaalta ylöspäin, jolloin kevyt materiaali fluidisoituu. Raskas fraktio pysyy lähellä

pöydän pintaa, liikkuu pöydän epäkeskisen täryliikkeen sysäämänä vasten kaltevaa pintaa ja poistuu pöydän yläpään reunojen yli. Kevyt materiaali kasaantuu pöydän alaosaan ja poistuu sieltä. Sovellusalueita ovat kaapeliromun, lasikuidun, hakkeen ja teollisuushiekkojen käsitleminen. Muunlaisen SE-romun kuin kaapeliromun kierrätykseen pneumaattisen hytkeyttimen soveltuvuutta ei ole vielä liiemmin tutkittu. Märkäprosessina tapahtuvaa hytkeytystä on sovellettu mm. maaperänpuhdistuksessa. (Nijkerk & Dalmijn 2001)

4.3.6 Vaahdotus

Vaahdotuksella tarkoitetaan rikastustekniikassa käytettyä märkämenetelmää, jonka avulla voidaan erottaa vesipakoinen eli hydrofobinen materiaali vesihakuisesta eli hydrofiilisestä materiaalista. Koska vain harvat mineraalit tai materiaalit ovat veteen joutuessaan hydrofobisia, täytyy vaahdotettavan aineksen pinta tehdä kemikaaleilla hydrofobiseksi. Näitä kemikaaleja kutsutaan kokoojareagensseiksi, jotka absorboituessaan partikkeleiden pinnoille muuttavat ne hydrofobiseksi, tällöin vesikuplan kiinnittyminen on mahdollista. Vaahdotuskennon pohjasta tuotetut kuplat ovat veden korkean pintajännityksen takia pintaan noustuaan liian heikkoja kantamaan kappaleita. Jotta saataisiin niin sitkeä kuplasto, että sen varassa pystytään poistamaan kupliin tarttuneet kappaleet vaahdotuslaitteesta, täytyy lietteeseen lisätä pintajännitystä alentavaa reagenssia. Reagenssia kutsutaan vaahdotteeksi. Kokoojien ja vaahdotteiden lisäksi vaahdotuskemikaaleihin kuuluvat aktivoijat, jotka helpottavat kokoojan tarttumista erotettavan partikkelin pinnalle, ja painajat, joiden vaikutus on puolestaan päinvastainen.

Kemiallisen käsittelyn lisäksi vaahdotuskennossa tapahtuu mekaanista sekoitusta. Vaahdotuskennon pohjassa olevan roottorin kautta puhallettujen ilmakuplien ja sopivan sekoitusnopeuden avulla aikaansaadaan haluttu suspensio lietteessä. Vaahdotuskennon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 27. (Lukkarinen 1987)



Kuva 27. Vaahdotuskennon toimintaperiaate. (Outotec Minerals 2008)

Vaahdotusta on sovellettu useissa eri kierrätykseen liittyvissä erotusmenetelmissä. Alla on mainittu näistä muutama.

Käytössä oleva sovellus kierrätyksessä on maanpesuprosessi. Saastuneiden maa-ainesten vaahdotus eroaa perinteisestä rikastustekniikan vaahdotuksesta muutamista tekijöistä johtuen: (Brunning 1995)

- saastuneen maamassan käsittelyssä ollaan kiinnostuneita paljon pienemmistä raeluokista kuin rikastustekniikassa
- useimmissa tapauksissa juuri pienemmät raeluokat ovat kaikkein saastuneimpia, ja pitäisi erottaa muusta materiaalista
- erotustehokkuuden pitää olla erittäin korkea, jotta saadaan puhdas lopputuote.

Keräyspaperin vaahdotussiistaus on myös käytössä oleva sovellus perinteisestä mineraalin vaahdotustekniikasta. Kuidutuksen ja sitä seuraavien mekaanisten puhdistusvaiheiden jälkeen sulpuissa on dispergoituneina painoväripartikkeleita, tahmopartikkeleita, täytepartikkeleita ja päällystyspigmenttejä. Painovärit ja tahmot pyritään poistamaan mahdollisimman täydellisesti. Täyteaineiden ja päällystyspigmenttien erotustarve riippuu

uusiomassan lopullisesta käyttötarkoituksesta. Vaahdotusmenetelmän perusyksikkö on kenno. Kennossa ilmakuplat tarttuvat sulpussa oleviin hydrofobisiin mustepartikkeleihin nostaen ne sulpun pinnalle. Pintaan muodostunut vaahto painoväreineen ja epäpuhtauksineen poistetaan kaapimalla, ylijooksuvirtauksella tai imun avulla. Vesihakuiset kuidut jäävät sulppuun. Vaahdotuskennoja on monia erilaisia tyyppejä, joissa kaikissa pyritään mahdollisimman tehokkaaseen ilmansyöttöön, maksimaaliseen partikkelien ja ilmakuplien yhteentörmäysten lukumäärän sekä aggregaattien nopeaan siirtymiseen pinnalle. (Lund 1993)

4.3.7 Poiminta

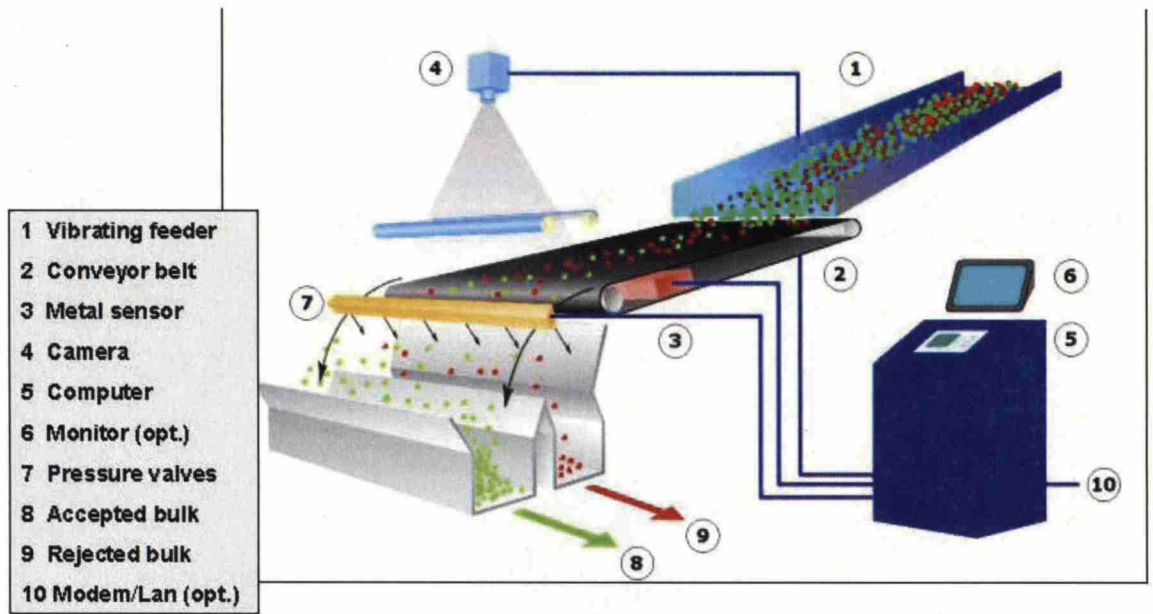
Poiminta on hyvin yleinen erotustekniikka kierrätystekniikassa. Menetelmä jakautuu manuaaliseen ja automatisoituun poimintaan. Käsinoiminta on erotusmenetelmä, jolle pyritään jatkuvasti löytämään korvaavia ja tehokkaampia menetelmiä.

4.3.7.1 Manuaalinen

Käsinoiminta on edelleen hyvin yleinen erotusmenetelmä kierrätysprosesseissa. Sitä käytetään mm. metallien, SER:n ja eri muovilaatujen erotuksessa. Menetelmänä se on hyvin yksinkertainen. Käsiteltävä syöte kuljetetaan hihnakuljettimella erotuspisteen ohitse, jossa tehtävään koulutettu henkilöstö erottaa ei-toivotut kappaleet materiaalivirrasta. Käsinoiminta on menetelmänä kallis, kapasiteetiltaan heikko ja erotuskyvyltään virheherkkä. Menetelmän kustannukset tosin syntyvät lähinnä työvoimakustannuksista, jolloin halpatyövoiman maissa käsinoimintaa voidaan pitää edullisena erotusmenetelmänä. Manuaalista poimintaa tekevä henkilökunta työskentelee usein työympäristössä, joka sisältää esimerkiksi pölyä ja muita ihmiselle myrkyllisiä haitta-aineita.

4.3.7.2 Automaattinen poiminta

Automaattinen poiminta on erotusmenetelmänä yleistynyt kierrätysliiketoiminnassa. Automaattista poimintaa käytetään mm. erivärisen lasimurskeen erotukseen ja puhdistukseen, muovien erotukseen ja puhdistukseen sekä metallien erottamiseen.



Kuva 28. Automaattisen poimurin toimintaperiaate. (Schäfer et al. 2002)

Kuvassa 28 on esitetty automaattisen poimurin toimintaperiaate. Kuvan laite pystyy käsittelemään noin 10t / h raekokoluokassa 5–50 mm tai 10–100 mm (Schäfer et al. 2002). Puhdistettu ja kuiva erotettava syöte kuljetetaan säteilylähteelle joko kuljettimella tai vapaalla pudotuksella. Detektori analysoi jokaisen kappaleen yksitellen. Tämän jälkeen detektori tunnistaa jokaisen rakeen ominaisuudet valitun erotuskriteerin mukaisesti. Kriteereitä on useita. Tunnistuksen vaatimuksena on, että tunnistettu ominaisuus on muutettavissa sähköiseksi signaaliksi, jonka jälkeen päätös hylkäämisestä tai hyväksymisestä voidaan tehdä. Koko prosessin on lisäksi tapahduttava hyvin lyhyessä ajassa, puhutaan millisekunneista. Yleisimpiä automaattisia poimureita ovat sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvat poimurit sekä optiset poimurit. Sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvat poimurit käyttävät tunnistukseen mikroaaltoja, infrapunasäteilyä, näkyvää valoa, ultraviolettisäteilyä sekä röntgen- ja gammasäteilyä. Optiset poimurit taas perustuvat värianalyysiin ja hahmontunnistukseen. Eroteltavilla partikkeleilla tulee erotustehokkuuden maksimoimisen vuoksi olla samankaltainen raekoko ja muoto. Automaattisten poimureiden ongelmana on heikko kapasiteetti ja virhelähteiden suuri määrä, tosin molempia ongelmakohtia on saatu korjattua viimeisten vuosien aikana. Tunnistuksen jälkeen partikkelit erotellaan syötteestä, yleensä ilmasuihkun avulla. Käytetty ilmasuihku saa detektorilta signaalin ja poistaa halutun kappaleen. Ilmasuihku on ajoitettu syötteen virtausnopeuden mukaan. Käytännössä ilmasuihkun avulla erotettaessa, joutuu rikasteen joukkoon väistämättä myös jätettä. (Nijkerk & Dalmijn 2001)

4.3.8 Materiaalin rakenneanalyysiin perustuvat menetelmät

Röntgenfluoresenssimenetelmää (XRF) käytetään sekä kvalitatiiviseen että kvantitatiiviseen analysointiin. Tutkittavaa materiaalia säteilytetään röntgensäteilyn aallonpituudella toimivilla säteilylähteillä, yleensä röntgenputken avulla. Röntgensäteilyn energia riittää sinkoamaan alkuaineiden sisimmältä kuorelta elektronin pois ytimen vaikutuspiiristä. Elektronivajaa atomi pyrkii energiaminimiin korvaamalla poistuneen elektronin ulommalla kuorella olevalla elektronilla. Elektronin siirtymistä vastaava energiaero on spesifinen, sillä jokaisen alkuaineen elektronirakenne on erilainen. Tällöin syntyy kullekin alkuaineelle karakteristinen säteily, joka on tunnistettavissa. Pitoisuudet voidaan määrittää syntyvän säteilyn intensiteetin määrästä. Röntgenfluoresenssiin perustuvia laitteita käytetään useissa eri kierrätystekniikan sovelluksissa. Röntgenfluoresenssimenetelmän rajoituksina voidaan pitää interferenssi- ja matriisihäiriöitä, jotka saattavat väärin tulkittuna aiheuttaa merkittäviä virheitä tuloksiin. Tarkka kvantitatiivinen mittaus edellyttääkin huomattavaa menetelmän periaatteiden ja teorian tuntemusta sekä asiantuntemusta kalibroinnista ja tulosten tulkinnasta. (Laine-Ylijoki et al. 2003)

Laatuvaatimukset PVC-muovin määrästä PET-rikasteessa ovat johtaneet röntgenfluoresenssianalysaattoreiden käyttöön myös muovien erotuksessa. Röntgensäteilyä käytetään varaamaan klooriatomit, jolloin PVC-kappaleet tuottavat kloorin fluoresenssisäteilyä tietyllä aallonpituudella. Sekundääriset röntgensäteet tunnistavaa systeemiä paineilmapuhaltimeen yhdistettynä voidaan käyttää PVC-pullojen poistoon PET-pullojen seasta. (Bolander 2008)

Tietyllä aallonpituus alueella kemialliset sidokset värähtelevät elektromagneettisen energian (valon) vaikutuksesta ja absorboivat valoa. Eri kemialliset sidokset absorboivat valon eri aallonpituuksilla. Mittaamalla valon absorptiota voidaan jokaiselle muovilaadulle saada sille ominainen spektri. Infrapunaheijastuksen avulla voidaan siis identifioida nopeasti eri muovilaatuja verrattaessa mitattua tulosta referenssispektriin. Kierrätystekniikassa on käytössä käytännössä kahdenlaista infrapuna-analyysiin perustuvaa menetelmää. Ne ovat Mid-IR (Mid-infrared spektroskopia) ja NIR (Near-infra-red spektroskopia). Menetelmät eroavat toisistaan juuri käytetyn aallonpituus alueen mukaan. Analyysimenetelmiä käytetään tunnistamaan mm. auton muovikomponentteja ja eri muovilaaduista valmistettuja muovipulloja. (Scheirs 1998)

4.4 Biologinen käsittely

Orgaanista jätettä voidaan käsitellä kompostoimalla tai mädättämällä. Kompostoinnissa mikrobit hajottavat ja muokkaavat kosteissa ja hapellisissa olosuhteissa eloperäisestä jätteestä humusta. Samalla muodostuu lämpöenergiaa, hiilidioksidia ja vettä. Kompostoinnissa jätteeseen sekoitetaan sen rakenneominaisuuksia parantavia seosaineita. Jätteet voidaan kompostoida pieninä erinä aumassa tai pienkompostoreissa tai keskitetysti kompostointilaitoksessa tai kompostointikentillä suurissa aumoissa. Pienkompostointi soveltuu ratkaisuksi yksittäisille kiinteistöille, kun taas laitosmainen kompostointi edellyttää suurten jätemäärien käsittelyä. Mädätyksessä orgaanista ainesta hajotetaan hapettomissa olosuhteissa toimivien mikro-organismien avulla. Hajoamisen pääasialliset lopputuotteet ovat metaani ja hiilidioksidi. Lisäksi prosessissa syntyy kompostoinnin humukseen verrattavaa kiintoainetta ja vettä. Anaerobisessa hajoamisessa syntyvä energia sitoutuu biokaasun metaaniin, joka voidaan käyttää energianlähteenä. Kiinteiden jätteiden mädätys tapahtuu aina suljetuissa laitoksissa. (Anvava et al. 2001)

4.5 Jätteen polttotekniikat

Jätteen termiseen käsittelyyn soveltuvia tekniikoita ovat mm. arinapoltto, leijukerrospoltto, pyrolyysi ja kaasutus. Pyrolyysi- ja kaasutusmenetelmistä puhuttaessa voidaan käyttää myös termiä kemiallinen kierrätys. Taulukossa 5 on esitetty yhteenveto eri polttotekniikoiden prosessiolosuhteiden eroista.

Taulukko 5. Prosessiolosuhteiden erot jätteen termisen käsittelyn tekniikoissa. (Laine-Ylijoki et al. 2005)

	Poltto	Kaasutus	Pyrolyysi
Reaktiolämpötila, °C	850–1 400	600–1 600	250–700
Paine, bar	1	1–45	1
Olosuhteet	Ilma	Kaasutus: O ₂ , H ₂ O	Inertti/typpeä
Stokiometrinen kerroin	>1	<1	0
Prosessituotteet			
- Kaasumaiset	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	CO, CH ₄ , H ₂ , N ₂	CO, H ₂ , N ₂ , hiilivedyt
- Kiinteät	Tuhka	Kuona	Tuhka

Polttotekniikan valintaan vaikuttavat ensisijaisesti jätteen kemiallinen ja fysikaalinen koostumus, kuten partikkelikoko, sekä jätteen termiset ominaisuudet, kuten lämpöarvo ja kosteuspitoisuus. Muutamille, spesifisille jätelajeille suunniteltuja prosesseja voidaan yleensä optimoida paremmin kuin useita vaihtelevia jätteitä vastaanottavia prosesseja, mikä näissä tapauksissa mahdollistaa prosessin stabiiliuden ja ympäristösuojellisuuden tason

parantamisen tai tiettyjen yksikköprosessien, kuten savukaasujen puhdistustekniikan, yksinkertaistamisen. (Laine-Ylijoki et al. 2005)

4.5.1 Arinapoltto

Arinapoltto soveltuu hyvin kotitalousjätteen termiseen käsittelyyn. Arinan tehtävänä on kuljettaa ja annostella jäte polttokammioon, jossa itse polttoprosessi tapahtuu. Jäljelle jäänyt palamaton materiaali sekä pohjatuhka siirtyvät arinan kuljettamina omaan käsittelyynsä. Arinan tarkoituksena on jätteen kuljettamisen lisäksi huolehtia tasaisesta ilman jakautumisesta. Prosessiin syötettävä primaarinen ilma puhalletaan polttokammioon kammion alapuolelta arinan lävitse. Sekundaarinen ilma johdetaan suoraan kammioon täydellisen palamisen takaamiseksi.

Yleensä jätteen palaminen ei vie tuntia kauempaa. Kammion yläosaan kertyvien kaasujen lämpö otetaan talteen energiantuotantoa varten ja tämän jälkeen kaasut johdetaan puhdistettaviksi. Arinapolttolaitoksen tyypillinen kapasiteetti on noin 4400–260 000 t/vuosi. (van Gerven et al. 2005)

4.5.2 Leijukerros poltto

Leijupetiin syötetään jätteestä valmistettua, hienojakoista kierrätyspolttoainetta (Refuse Derived Fuel, RDF), jota valmistetaan syntypaikkalajitellusta jätteestä. Tyypillinen esikäsittelyprosessi voi alkaa esimerkiksi haitallisten aineiden ja kierrätettävän materiaalin erotuksella. Tämän jälkeen jäte murskataan sopivaan partikkelikokoon, joka on tyypillisesti alle 100 mm. Seuraavat käsittelyvaiheet ovat jätteen kuivaaminen, kuivan aineen erotus seulomalla ja rautametallien magneettinen sekä ei-rautametallien erotus pyörrevirralla.

Leijukerros poltossa palaminen tapahtuu väliaineessa, kuten tuhassa, hiekassa tai kalkkikivessä. Väliaine on sylinterin muotoisessa polttokammiossa patjana, jonka läpi syötetään ilmaa. Alhaaltapäin syötetty ilma tekee patjasta leijuvan kerroksen, jonka tilavuus kasvaa alkuperäisestä 80-100 prosentilla.

Väliaineessa polttamisen etuna on prosessin vakaus ja tasalaatuisuus – sekä lämpötila että happipitoisuus ovat tasaisia koko palamistilassa. Energiantuotantoon menevä lämpö otetaan talteen joko savukaasuista tai leijukerroksesta. Prosessin ongelmana on väliaineen kuluminen sekä polttokammioon kertyvän materiaalin poistaminen. (van Gerven et al. 2005)

4.5.3 Pyrolyysi

Pyrolyysi on kiinteän aineen muuntumista lämmöntuonnin vuoksi kaasuksi ja tervamaiseksi aineeksi. Pyrolyysi ei ole polttoaineen palamista, vaan aineen hajoamista lämpötilan kohotessa. Tämän vuoksi pyrolyysi voi tapahtua myös inertissä ympäristössä, jos ympäristön lämpötila on riittävän korkea. Pyrolysoituva osuus on polttoaineesta, loppulämpötilasta ja kuumennusnopeudesta riippuva. Korkeampi loppulämpötila kasvattaa pyrolysoituvaa osuutta. Myös kuumennusnopeuden kasvattaminen lisää pyrolyysisaantoa, koska tällöin pyrolyysituotteiden sekundäärisille reaktioille jää vähemmän aikaa.

Pyrolyysin reaktiolämpö riippuu vallitsevasta lämpötilasta. Useimmille materiaaleille prosessi on matalissa lämpötiloissa endoterminen ja korkeissa lämpötiloissa eksoterminen. Pienillä hiukkasilla pyrolyysinopeutta rajoittaa palamisolosuhteissa kemiallinen kinetiikka. Suurilla partikkeleilla sitä rajoittaa joko lämmönsiirto ympäristöstä partikkeliin tai tuotteiden aineensiirto pois partikkelista.

Nestemäiset pyrolyysituotteet ovat tyypillisesti monimutkaisia alkoholi-, öljy- ja tervaseoksia sekä vettä, jota esimerkiksi yhdyskuntajätteen pyrolyysisaannosta on 70–80 %. Kaasumaiset tuotteet taas ovat usein vetyä, metaania, hiilimonoksidia sekä hiilidioksidia. Kaasuseoksen koostumus riippuu loppulämpötilasta. (Raiko et al. 1995)

5 Markkinatutkimus

Markkinatutkimusta voidaan käyttää (1) tunnistamaan ja määrittelemään liiketoiminta mahdollisuuksia ja ongelmia; (2) generoimaan, muokkaamaan ja arvioimaan toteutettuja markkinointi toimintoja; (3) mittaamaan markkinoinnin suorituskykyä; ja (4) parantamaan markkinoinnin ymmärtämistä. Usein markkinatutkimuksilla pyritään ratkaisemaan ennalta määritettyä ongelmaa. Tässä tutkimuksessa keskitytään lähinnä ensimmäiseen kohtaan, jossa tunnistetaan ja etsitään uusia liiketoiminta mahdollisuuksia ja pyritään havaitsemaan mahdollisia ongelmia. (Hague & Jackson 1999)

Tämän markkinatutkimuksen tavoitteena on selvittää kierrätysliiketoiminnan trendejä ja kierrätysprosesseissa käytettyjä teknologioita. Samalla pohditaan kuinka Outotec Minerals liiketoimintadivisioona voisi laajentua uudelle liiketoiminta-alueelle. Internetin avulla toteutetun markkinakyselyn tavoitteena oli etsiä vastauksia seuraaviin kohtiin:

- teknologian merkitys toimialalla
- nykyiset teknologiatoimittajat
- ajavat markkinavoimat
- tulevaisuuden suuntaukset
- Outotecin tunnettuus toimialalla.

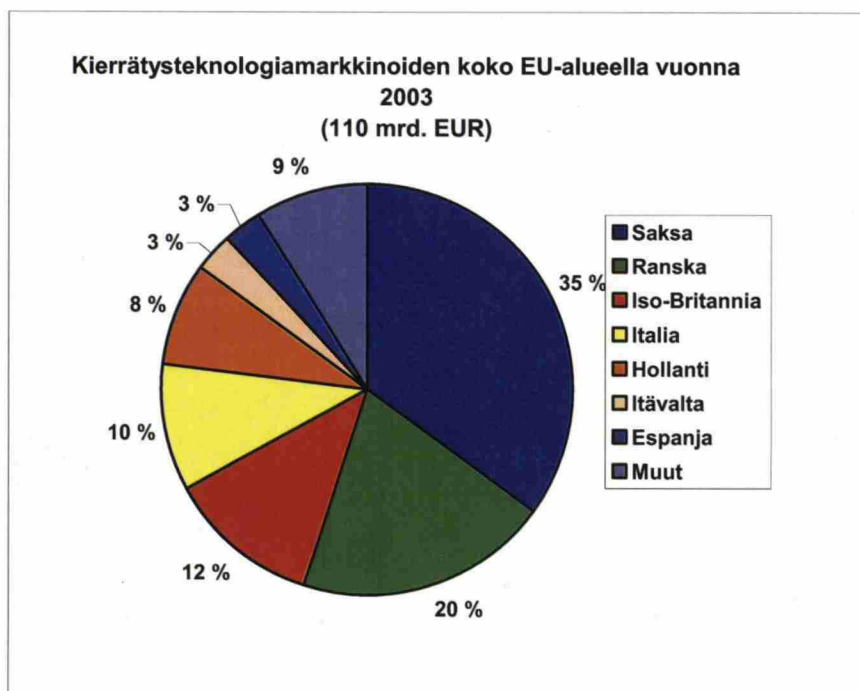
5.1 Kierrätysmarkkinat

Kierrätysmarkkinoista selvitetään kierrätysteknologian potentiaalista markkinakokoa Euroopassa. Tämän lisäksi käsitellään keskeisimmät ympäristödirektiivit, jotka vaikuttavat vahvasti sekä teollisuuden että kierrätysyritysten toimintaan.

5.1.1 Markkinoiden koko

Kierrätysteknologiamarkkinoiden arviointiin on käytetty Christoph Genterin tekemää ”Innovative waste management products, European market survey” selvitystä. Kyseisessä markkinatutkimuksessa vientimarkkinoiden kokoa on arvioitu kierrätysyritysten myyntitulojen perusteella. Näistä myyntituloista on sijoitettu 5 % uusiin investointeihin, jolloin yhteenlaskettu markkinakoko kierrätysteknologialle EU-alueella oli vuonna 2003 noin 110 mrd. €. Huomioitavaa on, että Genterin markkinatutkimuksessa markkinakokoa on arvioitu mekaanisen, hydrometallurgisen ja pyrometallurgisen kierrätyksen lisäksi myös logistiikkaan liittyville teknologiaratkaisuille.

Tarkasteltaessa markkinoiden jakautumista maantieteellisesti voidaan todeta, että Saksa on suurin markkina-alue. Seuraavaksi tulevat suuruusjärjestyksessä Ranska, Iso-Britannia, Italia ja Hollanti. Tulokset on esitetty kuvassa 29. (Genter 2003)



Kuva 29. Teknologiamarkkinoiden koko kierrätysliiketoiminnassa. (Genter 2003)

5.1.2 Ympäristödirektiivit

EU:n lainsäädännöllä on kaksijakoinen merkitys jätehuollon tulevaisuuden kannalta. Positiivinen vaikutus on, että vain yhtenäisen lainsäädännön myötä voi kehittyä aito yhteiseurooppalainen kotimarkkina-alue. Tiukka lainsäädäntö luo myös tarpeen ja kysynnän laadukkaalle jätehuollolle. Siksi myös EU:n laajenemisen myötä syntyy samalla uusia liiketoimintamahdollisuuksia uusilla maantieteellisillä alueilla. Toisaalta mahdollinen negatiivinen vaikutus piilee siinä, että EU:ssa kaiken on oltava ohjekirjoihin kirjoitettuna. Ohjeistus on jäykkää, vaikeaselkoista ja yksityiskohtaista. Byrokratian kaksinaisvaikutus voi vielä korostua erityisesti jätehuoltoalalla, jolla ohjeistus on erityisen tarkkaa. Vaikka positiivisiakin mahdollisuuksia on havaittavissa, niin kaiken kaikkiaan markkinatutkimus osoitti, että EU:n edustaman jäykän byrokraattisen järjestelmän uskotaan vaikuttavan heikentävästi erityisesti jätealan innovaatiotoimintaan. Koska jäteala näyttäisi samaan aikaan olevan rakenteellisen ja sisällöllisen muutoksen kourissa, lainsäädännön paineet ja negatiiviset vaikutukset voivat korostua lähitulevaisuudessa. Jätelainsäädäntö jää joko jälkeen kehityksestä tai on erisuuntaista kuin markkinoiden sisäinen logiikka.

Alla on esitetty muutamia keskeisiä ympäristödirektiivejä, jotka vaikuttavat vahvasti kierrätysliiketoimintaan.

Kaatopaikkadirektiivissä (1999/31/EC) on asetettu tarkat määritelmät kaatopaikkojen rakentamiselle, ylläpidolle sekä sulkemiselle. Tämän lisäksi myös biohajoavalle jätteelle on asetettu kaatopaikkarajoituksia. Kaatopaikalle sijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen määrää on vähennettävä portaittain vuoden 1995 tasosta 75 %:iin vuoteen 2006 mennessä, 50 %:iin vuoteen 2009 mennessä ja 35 %:iin vuoteen 2016 mennessä. EU:n kaatopaikkadirektiivin vähentämistavoitteet ovat melko maltilliset, ja antavat valtioille aikaa sopeutua korvaavan kapasiteetin rakentamiseen. Kaatopaikkadirektiivi aiheuttaa sen, että maissa joissa jätehuolto on perustunut suurelta osin jätteen läjittämiseen kaatopaikoille, joudutaan tilalle hakemaan korvaavaa jätteenkäsittelykapasiteettia. (Kaatopaikkadirektiivi 2008)

Jätteenpolttodirektiivin (2000/76/EC) lähtökohtana on ollut yhdistää ja uudistaa kaksi vanhaa jätteenpoltoa koskevaa direktiiviä sekä vähentää jätteenpoltossa syntyvien raskasmetallien ja myrkkyjen päästöjä. Direktiivin tarkoituksena on yhdenmukaistaa jätteiden polton vaatimuksia EU:n alueella. Direktiivin mukaan sekä jätteiden että ongelmajätteiden polttoa ja rinnakkaispoltoa tulee vastata lähes samat tiukat päästönormit.

Jätteenpolttodirektiivin mukaan lasketaan päästörajat rinnakkaispolttolaitoksille laskentasäännöllä, joka huomioi pääpolttoaineen ja jätteen osuudet kuivissa savukaasuissa. Jätteenpolttodirektiivi tuo lisäksi uudet päästörajat HCl:n, HF:n, TOC:n ja CO:n sekä raskasmetallien, dioksiinien ja furaanin osalta REF:iä rinnakkaispolttaville laitoksille. (Jätteenpolttodirektiivi 2008)

Romuajoneuvodirektiivin (2000/53/EC) mukaan romuauton painosta on hyödynnettävä ja uudelleenkäytettävä vuoteen 2006 mennessä 85 prosenttia ja vuoteen 2015 mennessä 95 prosenttia. Uudelleenkäytön ja kierrätyksen osalta vuoden 2006 vaatimus on 80 prosenttia ja vuoden 2015 vaatimus 85 prosenttia. Romuajoneuvodirektiivin mukaan tuottaja vastaa romuajoneuvojen vastaanotosta, käsittelystä, kierrätyksestä sekä edellä mainituista toimista aiheutuvista kustannuksista. (Romuajoneuvodirektiivi 2008)

WEEE-direktiivin (directive on waste electrical and electronic equipment) (2002/95/EC) myötä sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätys on tullut pakolliseksi kaikissa Euroopan unionin maissa. Direktiivi määrittelee sitovasti minimiehdot Euroopan unioniin kuuluvien maiden alueella tapahtuvalle SER:n käsittelylle. Direktiivin tärkeimpänä tavoitteena on sähkö- ja elektroniikkalaitteista peräisin olevien jätteiden vähentäminen sekä laitteiden tai niiden osien uudelleenkäytön, kierrätyksen ja muun hyödyntämisen lisääminen. Pyrkimyksenä on järjestää SE-romun erilliskeräys, esikäsittely ja hyödyntäminen ympäristön kannalta hyväksyttävällä tavalla. Direktiivi koskee kaikkia tavallisimpia kotitalouksissa ja toimistoissa käytettäviä sähkö- ja elektroniikkalaitteita. (WEEE-direktiivi 2008)

RoHS-direktiivin (Restrictions on the use of Hazardous Substances) (2002/95/EY) keskeisimpiä tavoitteita on kieltää muutamien poikkeuksin lyijyn, elohopean, kadmiumin, kuudenarvoisen kromin sekä bromatuista palonestoaineista polybromattujen bifenyyliden ja polybromattujen difenyylieettereiden käytön uusissa sähkö- ja elektroniikkalaitteissa (RoHS-direktiivi 2008). Direktiivillä uskotaan olevan vahvat vaikutukset koko sähkö- ja elektroniikkateollisuuteen. Sen on arvioitu vaikuttavan mm: (Spets 2008)

- olemassa oleviin tuotteisiin ja tuotesuunnitteluun
- tuotantoprosesseihin
- komponenttien materiaalivalintoihin.

5.2 Merkittävimmät toimijat Euroopassa

Merkittävimpien Euroopassa toimivien kierrätysyritysten kartoittaminen osoittautui odotettua vaikeammaksi. Yritysten ilmoittamissa avainluvuissa ja toiminnan kuvauksissa on erittäin suurta vaihtelua. Pörssiyhtiöt kertovat erittäin kattavasti omasta toiminnastaan, kun taas pienemmät perheyhtiöt kuvaavat toimintaansa usein melko suppeasti. Lisäksi on huomioitava, että tarkasteltaessa pelkästään yrityksen avainlukuja jää helposti arvioimatta miten yrityksen toiminta jakautuu kierrätyksen eri liiketoiminta-alueille. Selvityksessä huomioitiin ainoastaan liikevaihto ja henkilöstön määrä, joka koostuu yrityksen kierrätys- ja ympäristöliiketoiminnasta.

Taulukkoon on merkitty Euroopan 20 suurinta kierrätysyritystä. Suuruusjärjestys määräytyi yrityksen ilmoittaman liikevaihdon mukaan. Tarvittavat valuuttamuutokset tehtiin 01.06.2008 mukaisilla valuuttakursseilla. Tiedot ovat pääasiassa vuodelta 2007. Lähteinä käytettiin haastatteluja ja yrityksien omia vuosikertomuksia.

Taulukko 6. Euroopan suurimmat kierrätysyritykset.

Yritys	Alkuperämaa	Yhtiötyyppi	Liikevaihto Eurooppa (milj. €)	Kokonaisliik. (milj. €)	Henkilöstö	Tiedot vuodelta
Veolia Environment	Ranska	Pörssi	6 600	9200	100 000	2007
Suez Environment	Ranska	Pörssi	5 540	8 800	53 000	2007
Remondis	Saksa	Perhe	5 500		17 000	2007
ELG	Saksa	Perhe	3 765		1 043	2007
CFF Recycling	Ranska	Pörssi	3 700		3 500	2007
FCC	Espanja	Pörssi	2 800		42 000	2007
Stena Metall Ab	Ruotsi	Perhe	2 730		3 400	2007
Interseroh	Saksa	Pörssi	1 750		1 380	2007
Urbaser	Espanja	Pörssi	1 328		32 000	2007
EMR	Iso-Britannia	Pörssi	1 265		1 400	2004
Van Gansewinkel	Hollanti	Perhe	1 197		6 000	2007
Sims group	Australia	Pörssi	1 114	5 550	3 700	2007
Biffa	Iso-Britannia	Pörssi	1 100		322	2007
Alba	Saksa	Perhe	1 100		300	2007
Kuusakoski Oy	Suomi	Perhe	924		2 200	2007
Cespa	Espanja	Pörssi	823		14 508	2007
CNIM	Ranska	Pörssi	555		2 789	2007
Lassila & Tikanoja	Suomi	Pörssi	550		9 387	2007
Shanks	Iso-Britannia	Pörssi	615		4 040	2007
Group Galloo	Ranska	Perhe	450		500	2007
Ragn-Sells	Ruotsi	Pörssi	430		-	2007
Séché	Ranska	Pörssi	374		1 564	2007

5.2.1 Teknologiatoimittajat

Markkinatutkimusta varten pyrittiin kartoittamaan kaikki Euroopassa toimivat kierrätystekniikkaa toimittavat teknologiatoimittajat. Merkittävimpien teknologiatoimittajien toiminta on kuvattu lyhyesti aakkosjärjestyksessä.

AKW Apparate und Verfahren GmbH on saksalainen teknologiatoimittaja, jonka tuoteportfolio on hyvin samankaltainen kuin Outotec Mineralsin tuoteportfolio. Yritys on erikoistunut kierrätysliiketoiminnassa maa-alueiden ja jäteveden puhdistukseen

BMH Enviro on suomalainen kierrätysteknologiatoimittaja, joka on erikoistunut energiajakeiden kierrätykseen. Yrityksellä on oma hienonnustuoteperhe, jonka lippulaivana toimii TYRANNOSAURUS® shredderi. Yritys painottaa olevansa jäteprosessointilaitosten toimittaja.

Eldan Recycling on vuonna 1956 perustettu tanskalainen kierrätysteknologiatoimittaja, joka pitää itseään metallin-, SER:n ja kaapelinkierrätyksen johtavana teknologiatoimittajana. Yritys tarjoaa asiakkailleen kokonaisratkaisuja, jotka sisältävät asiakaspalvelun, suunnittelun, kehityksen, asennukset ja ylläpidon. Yritys omistaa omat tuotantolaitoksensa, mitä se pitää tärkeänä hyvän asiakaspalvelun kannalta.

Erdwich on saksalainen kierrätysteknologiatoimittaja, jolla on alalta jo yli 30 vuoden kokemus. Yritys on erikoistunut hienonnustekniikkaan, ja sillä on kattava tuoteperhe shredderi- ja granulointitekniikassa.

Hamos on vuonna 1979 perustettu sähköstaattiseen erotukseen erikoistunut kierrätysteknologiatoimittaja. Yritys ilmoittaa olevansa markkinajohtaja sähköstaattisessa erotuksessa. Tämän lisäksi yritys on keskittynyt magneetti- ja pyörrevirtaerotukseen, sekä automaattiseen poimintaan.

Metso Mineralsiin kuuluva kierrätysliiketoimintadivisioona on kasvanut vahvasti viime vuosina. Yritysostojen sekä omien resurssien keskittämisen vuoksi Metsosta on tullut merkittävä kierrätystekniikan teknologiatoimittaja. Yritysostot, kuten Texas Shredder ja Lindemann ovat tehneet Metsosta alan johtavia teknologiatoimittajia. Metson osaaminen on vahvaa hienonnustekniikassa, josta esimerkkinä voidaan mainita Metson mobiilimurskaimet.

MeWa Recycling on vuonna 1980 perustettu saksalainen kierrätysteknologiatoimittaja, joka on erikoistunut SER:n ja yhdyskuntajätteen kierrätykseen. Yrityksellä on vahva osaaminen hienonnustekniikassa, kuten esimerkiksi selektiivisesti hienontava UNI-CUT® murskain. MeWa Recycling sai erityismaininnan innovatiivisena teknologiatoimittajana useammassa asiantuntijahaastattelussa.

S+S Separation and Sorting Technology GmbH on vuonna 1976 perustettu saksalainen kierrätysteknologiatoimittaja, joka on erikoistunut automaattiseen poimintaan ja tunnistusteknologiaan. Yritys on alan johtavia teknologiatoimittajia automaattisessa poiminnassa. Yritys korostaa tietotaitoaan teknologian räätälöinnissä asiakkaan ehdoilla.

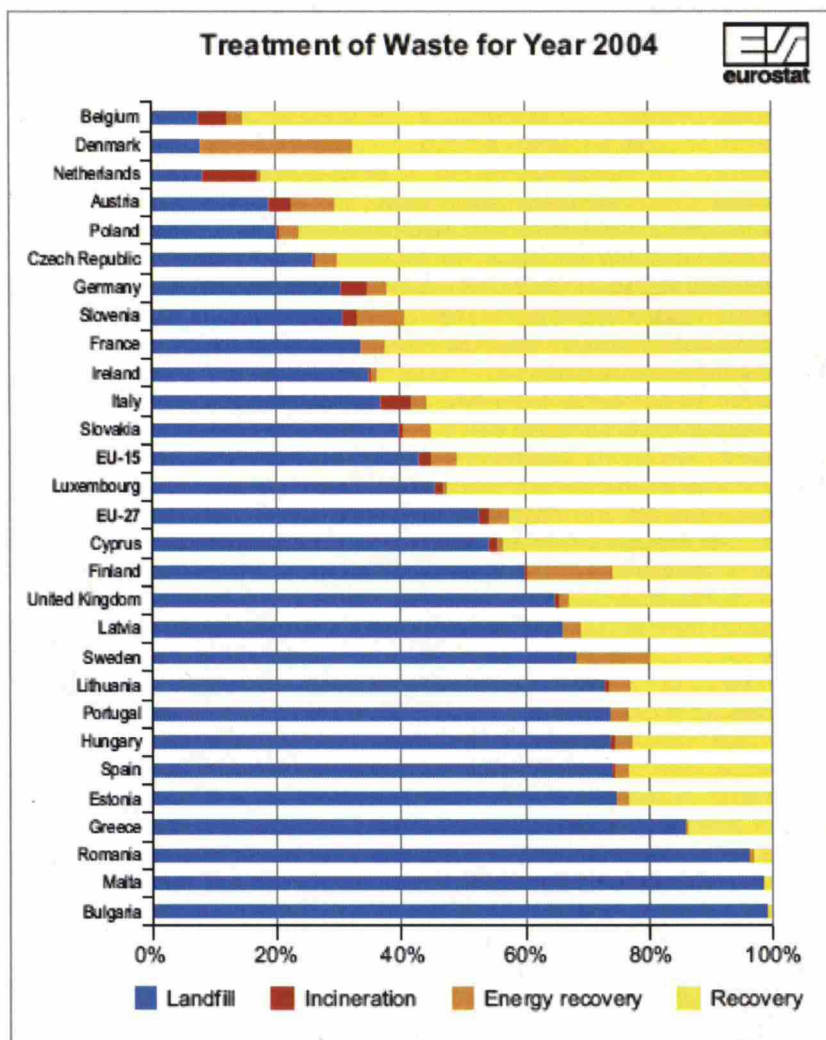
Steinert on vuonna 1889 perustettu saksalainen kierrätysteknologiatoimittaja, joka on erikoistunut magneettisiin erottimiin sekä automaattiseen poimintaan. Steinert on tunnettu patentoiduista epäkeskisistä eddy-current -erottimista. Steinertilla on useita referenssejä ja se pyrkii tarjoamaan asiakkailleen kokonaisvaltaisia palveluja asennuksesta ylläpitoon.

Tomra on vuonna 1971 perustettu Norjalainen kierrätysteknologiatoimittaja, joka on erikoistunut automaattiseen poimintaan ja tunnistusteknologiaan. Tomran omistama TiTech on alansa johtavia automaattiseen poimintaan erikoistuneita yrityksiä.

5.3 Jättemäärät ja käsittelymenetelmät EU-alueella

EU 25 -alueella syntyi vuonna 2004 noin 1,3 miljardia tonnia jätettä. Teollisuusjätteen osuus oli noin 427 miljoonaa tonnia, energiatuotannon jätteitä syntyi 127 miljoonaa tonnia, rakennusjätettä 510 miljoonaa tonnia ja yhdyskuntajätteitä 241 miljoonaa tonnia. (EUROSTAT 2008)

Jätteenkäsittelymenetelmät eroavat vahvasti EU-jäsenmaiden välillä. Kuvassa 30 on esitetty eri jätteenkäsittelymenetelmät Euroopassa vuonna 2004. Uusissa jäsenmaissa jätteen loppusijoitus on edelleen hyvin yleistä, kun taas vanhoissa jäsenmaissa kuten Belgia, Tanska, Hollanti ja Itävalta loppusijoituksen osuus on alle 20 %.



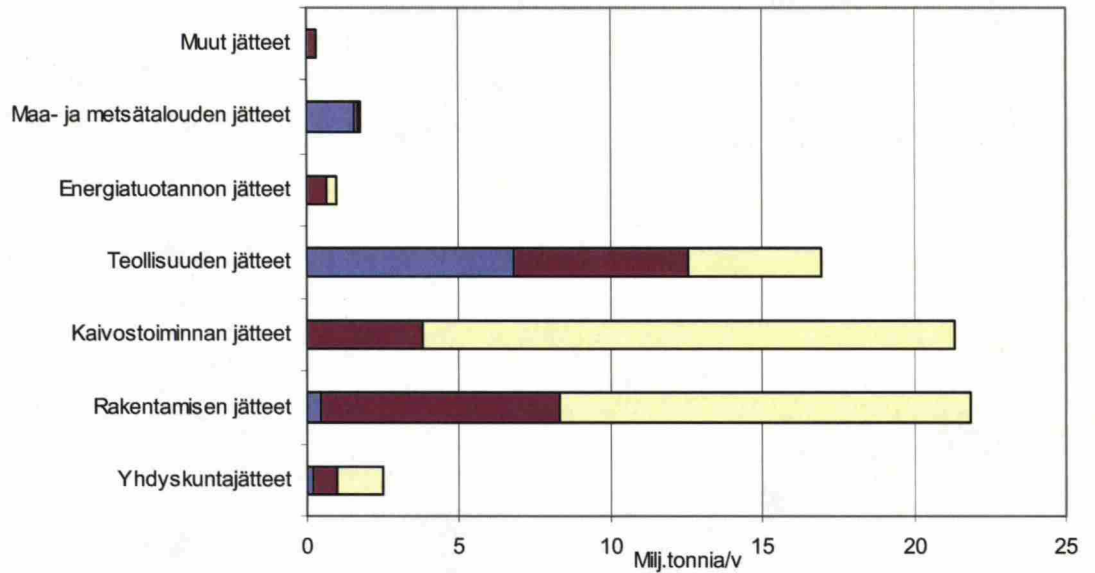
Kuva 30. Jätteenkäsittelymenetelmät Euroopassa vuonna 2004. (EUROSTAT 2008)

5.3.1 Suomi

Suomessa syntyi jätettä vuonna 2005 lähes 66 miljoonaa tonnia. Määrään eivät sisälly maataloudessa hyödynnetty lanta eivätkä metsään jätetyt hakkuutähteet. Syntyneistä jätteistä noin 29 % hyödynnettiin materiaalina ja 14 % energiana; loput 57 % sijoitettiin kaatopaikoille tai käsiteltiin muutoin.

Eniten jätettä syntyi mineraalien kaivuun ja rakentamisen toimialoilla. Edeltävässä jätettä syntyi noin 21 miljoonaa tonnia ja jälkimmäisessä 22 miljoonaa tonnia. Teollisuusjätettä syntyi lähes 17 miljoonaa tonnia. Yhdyskuntajättemäärät ovat vaihdelleet vuosien 2000–2006 aikana noin 2,4–2,6 miljoonaan tonniin. Yhdyskuntajätteen määrä vuonna 2005 oli 2,48 miljoonaa tonnia. Kuvassa 31 on esitetty Suomessa vuonna 2005 syntyneet jättemäärät ja niiden käsittelymenetelmät. (Huhtinen et al. 2007)

Jätteen määrät, hyödyntäminen ja käsittely Suomessa vuonna 2005



	Yhdyskuntajätteet	Rakentamisen jätteet	Kaivostoiminnan	Teollisuuden jätteet	Energiatuotannon	Maa- ja metsätalouden	Muut jätteet
■ Käsittely ja loppusijoitus	1,52	13,56	17,55	4,35	0,31	0,09	0,01
■ Hyödyntäminen materiaalina	0,78	7,82	3,81	5,74	0,65	0,08	0,3
■ Hyödyntäminen energiana	0,18	0,49	0	6,83	0	1,6	0

Kuva 31. Jätekertymät sekä niiden hyödyntäminen ja käsittely Suomessa vuonna 2005. (Huhtinen et al. 2007)

5.4 Haastattelut ja markkinakysely

Tukimusta varten suoritettavat haastattelut tapahtuivat aikavälillä toukokuu–syyskuu vuonna 2008. Pääasiassa haastateltavat saapuivat Outotecin pääkonttoriin, mutta osa haastatteluista tapahtui muualla Suomessa tai ulkomailla. Haastateltavat toimivat seuraavilla kierrätyksen liiketoiminta-alueilla: metalli, SER, yhdyskuntajäte, muovit, maaperänpuhdistus ja rakennus- sekä purkujäte. Osalla haastateltavista oli akateeminen tausta ja he toimivat eri instituutioiden nimissä.

Markkinakysely julkaistiin heinäkuussa ja vastauksia saatiin Suomesta, Ruotsista ja Saksasta (ks. liite 5). Markkinakyselyn tuloksia ei erikseen analysoida tässä tutkimuksessa, vaan kyselyn tuloksia käytetään pohdinnan tukena. Markkinakyselyn tulokset on esitetty liitteissä 5–12 ja niihin viitataan tarvittaessa.

5.4.1 Globaalit megatrendit

Globaaleista megatrendeistä tärkeimpiä ovat luonnonvarojen kulutuksen kasvu, kaupungistuminen sekä Aasian alueen teollistuminen ja väestönkasvu.

Luonnonvarojen kulutus kasvaa globaalisti erityisesti Kaakkois-Aasiassa, joka tulee neitseellisten raaka-aineiden saannin vaikeutuessa entistä enemmän nojaamaan myös uusioraaka-aineiden hyödyntämiseen. Nouseva raaka-aineiden hinta kannustaa teollisuutta sekä Euroopassa että muualla maailmassa erittelemään rahanarvoiset tuotannon sivutuotteet entistä tarkemmin. Samanaikaisesti hinnannousu ohjaa kierrätysyrityksiä käsittelemään kierrätettävät jätejakeet yhä paremmin ja minimoimaan loppusijoitettavan jätteen määrän. Tämä megatrendi kasvattaa kansainvälisellä tasolla jätehuollon kysyntää ja luo taustan jätehuoltoon liittyvän liiketoiminnan globaalille kasvulle.

Globaalilla tasolla väestönkasvu ja kaupungistuminen liittyvät kiinteästi toisiinsa. Kaupungistumisella on suora vaikutus jätehuoltoon: juuri kaupungistumiskehitys on luonut tarpeen nykyaikaisen jätehuollon järjestämiselle. Kaupungistumiskehityksen seurauksena keskitetyn ja laadukkaan jätehuollon tarve kasvaa suurissa kaupunkiyksiköissä - joissa jätteiden keräily ja lajittelu voidaan myös toteuttaa tehokkaasti ja kannattavasti. Siksi maailman kaupungistuvat ja teollistuvat alueet ovat jätehuollon tulevaisuuden merkittävimpiä markkina-alueita. Kaupungistuminen vaikuttaa erittäin vahvasti yhdyskuntajätteiden jätehuoltoon, mutta vaikutukset voivat ulottua myös muihin kierrätykseen liittyviin liiketoiminta-aloihin.

5.4.2 Nykytrendit ja -liiketoiminta kierrätyksessä

Kierrätysyritysten liiketoimintaan vaikuttavista markkinavoimista kolme tärkeintä ovat:

- sekundäärituotteen markkinat
- direktiivit ja lainsäädäntö
- ”vihreät arvot”.

Yllämainituista markkinavoimista kaksi ensimmäistä nähtiin erittäin tärkeiksi. Kumpaankaan tekijään kierrätysyritykset eivät mielestään pystyneet vahvasti vaikuttamaan, vaan ne olivat ns. itsestään riippumattomia markkinavoimia. ”Vihreillä arvoilla” tarkoitetaan sekä kuluttajien että teollisuuden kasvanutta valvutuneisuutta ympäristöystävällisen toiminnan saavuttamiseksi.

Kierrätysliiketoiminnassa hyvin tärkeäksi trendiksi on noussut ”Zero waste” -käsite, joka tarkoittaa, että kaikki jäte tulee hyötykäyttää. Zero waste -trendi on pakottanut suuria kierrätysyrityksiä toimimaan yhä kokonaisvaltaisemmin. Vahvaa kasvua tavoiteltaessa on pakko vastaanottaa kaikki asiakkaan jätejakeet, joista usein vain pieni osa on taloudellisesti kannattavaa kierrättää. Kannattavuuden lisäämiseksi täytyy parantaa olemassa olevia erotustekniikoita ja prosessiosaamista.

Haitallisena trendinä voidaan nähdä jätteen negatiivinen käsite. Useat eri teollisuuden alat kuten esimerkiksi elintarviketeollisuus ja muoviteollisuus eivät halua, että heitä yhdistetään millään tavalla kierrätysliiketoimintaan. Tämä on valitettavaa, sillä useilla eri teollisuuden aloilla voisi olla paljon annettavaa kierrätysliiketoimintaan niin teknologian kuin materiaalin uudelleen käytön näkökulmasta. Sanasta ”jäte” tulisi luopua ja siirtyä puhumaan esimerkiksi uudelleen käytettävästä materiaalista.

”Elintarviketeollisuudessa käytetyillä erotusteknologioilla on paljon yhtäläisyyksiä kierrätystekniikkaan.” (Kierrätystekniikan professori, Keski-Eurooppa)

Toinen negatiivinen tekijä on ns. ”pelko yrittää jotain uutta”. Useat jätejakeet myydään Kiinaan, jossa ne lajitellaan käsinpöiminnalla. Tarvittavaa erotustekniikkaa on olemassa, mutta se on vielä tällä hetkellä liian kallista, joten jätteenkäsittelijät ovat valinneet helpomman reitin toimittamalla taloudellisesti kannattamattomat jätejakeet halpatyövoiman

maihin. Tämä trendi hidastaa teknologian kehitysmahdollisuuksia ja kierrätysyritysten investointeja uuteen teknologiaan. Investointeihin liittyvää epävarmuutta aiheuttavat myös lainsäädännön jatkuvat muutokset.

Kierrätysliiketoiminnassa on ollut tavallista, että yrittäjiä saapuu ja poistuu alalta suhdanteiden mukana. Alalle pääsyn esteet ovat olleet melko alhaisia ja tarvittavat investoinnit vähäisiä. Kasvaneet logistiikkakustannukset, tarve kokonaisvaltaisille palveluille sekä kiristyneet direktiivit ovat lisänneet alalle pääsyn esteitä. Tämä on johtanut tilanteeseen, jossa suuret toimijat ovat vahvistaneet asemiaan alalla, ja pienemmät yritykset ovat erikoistuneet yhä vahvemmin tiettyihin materiaalisegmentteihin.

Keski-Euroopassa on nähtävissä piirteitä kierrätysliiketoiminnan jakautumisesta kuluttajajätteen sekä kaupassa ja teollisuudessa syntyvän jätteen sektoreihin. Näistä kahdesta sektorista syntyvä jäte on ominaisuuksiltaan hyvin erilaista – kuluttajajäte on huomattavasti heterogeenisempaa. Direktiivien asettamat kierrätysasetavoitteet pystytään saavuttamaan keskittymällä ainoastaan kaupan ja teollisuuden jätejakeisiin. Tämä on johtanut kierrätysliiketoiminnan epätasapainoon kierrätysyritysten keskittyessä teollisuudessa ja kaupassa syntyvän jätteen kierrätykseen.

5.4.3 Teknologiat ja prosessit

Useat mekaanisessa kierrätyksessä käytetyt teknologiat ja laitteet ovat sovelluksia mineraalitekniikasta. Erittäin heterogeenisesta syötteestä johtuen prosessit poikkeavat perinteisistä mineraalien rikastusprosesseista.

Investoitavissa prosesseissa ja teknologioissa pyritään yksinkertaisiin ja ympäristöystävällisiin ratkaisuihin. Kuivaprosesseja suositetaan niiden kustannustehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja tilan säästön takia. Kuivaprosessit ovat selkeä trendi teknologiaa valittaessa.

"If you can, do it dry!" (Kierrätystekniikan professori, Keski-Eurooppa)

Olemassa oleville märkäprosesseille etsitään korvaavia menetelmiä kuivaprosesseista. Markkinakyselyn perusteella merkityksellisimmät teknologiat on esitetty liitteessä 6. Tehdyt haastattelut vahvistivat markkinakyselyn tuloksia, jolloin tärkeimmät teknologiat ovat:

- kappalekoon pienentäminen eli murskaus ja leikkaus
- seulonta
- magneettinen erotus
- pyörrevirta ts. eddy-current erotus
- automaattinen poiminta.

Mineraali- ja kierrätystekniikan yhtenevistä teknologioista huolimatta prosessiosaamisen voidaan todeta olevan heikompaa kierrätysliiketoiminnassa. Syitä on varmasti useita, mutta yksi keskeinen syy on prosessiajattelumallin puutteellisuus, jonka lisäksi tekninen osaaminen on alalla melko heikkoa. Menestyvä liiketoiminta on pohjautunut menneitten vuosikymmenten aikana vahvaan osto- ja myyntiosaamiseen. Tässä on kuitenkin nähtävissä selvä muutos, sillä lähes kaikissa haastatteluissa painotettiin toimivien ja edistyksellisten prosessien merkitystä (ks. liite 9 ja 10). Prosessisuunnittelussa pitäisi painottaa enemmän materiaalikohtaista ja koko kierrätysketjun huomioivaa ajattelutapaa, sillä liian usein prosessit rakennetaan yksittäisten laitteiden, eikä materiaalien ominaisuuksien mukaan.

"Tekninen osaaminen perustuu pitkälti käytännössä kokeiltuihin ja opittuihin asioihin. Varsinainen prosessiosaaminen on suhteellisen heikkoa." (Liiketoiminnan kontrolleri, Puola)

"Ei tiedetä kuinka hyviä voitaisiin olla." (Tutkimus- ja kehitysjohtaja, Ruotsi)

Yhtäläisyyksiä mineraali- ja kierrätystekniikan välillä tulee tarkastella muutenkin varauksella, sillä vaikka teknologiat ovat samankaltaisia, eroavat nämä kaksi liiketoiminta-aluetta merkittävästi teollistumisen muodossa. Mineraali- ja kaivosteollisuudessa prosessien käyttöasteet ovat luokkaa 80–90 %, kun kierrätysliiketoiminnassa vastaava luku on noin 50 %.

"Incineration is the only industrialized business area in recycling" (Kierrätystekniikan professori, Keski-Eurooppa)

Käsiteltävät materiaalivirrat ovat myös huomattavasti pienemmät kierrätystekniikassa. Sekä käyttöasteen että kapasiteetin aiheuttamat eroavaisuudet aiheuttavat ongelmia sovellettaessa mineraali- ja kaivosteknologiaa kierrätykseen liittyvissä prosessiratkaisuissa. Lisäksi teknologioiden ja laitosratkaisujen suunnittelussa sekä toimittamisessa on ongelmana toimitustakuiden puutteellisuus. Jätteen eli syötteen heterogeenisuudesta johtuen teknologiatoimittajalla on hyvin vaikeaa taata tarkka toimintavarmuus laite- tai laitosratkaisulle. Tämä puolestaan vähentää kierrätysyritysten investointihalukkuutta.

5.4.4 Teknologiatoimittajat

Lähes kaikissa käydyissä haastatteluissa todettiin, että kierrätysyritykset haluisivat parantaa ja vahvistaa yhteistyötään teknologiatoimittajien kanssa. Teknologiakehitys tulisi tapahtua yhteistyössä kierrättäjän ja teknologiatoimittajan kanssa. Käytännössä näin ei tapahdu vaan laiteratkaisuja rakennetaan itse, usein yrityksen ja erehdyksen kautta.

”Olemme rakentaneet paljon laitteita itse eri konepajoilla tyylillä niin nopeasti kuin mahdollista. Jälkeenpäin on huomattu, että tämä ei välttämättä ollut se paras ratkaisu prosessin kannalta.” (Tutkimus- ja kehityspäällikkö, Suomi)

Viimeisinä vuosina on ollut nähtävissä selkeää ryntäystä teknologiatoimittajien määrässä. Alalle on saapunut huomattava määrä pieniä teknologiatoimittajia, joita jotkut haastateltavat kutsuivat ns. ”onnenonkijoiksi.” Näistä yrityksistä vain harva on vakavasti otettavia yrityksiä niin teknologiansa kuin liiketoimintansa näkökulmasta. Globaalien ja osaavien teknologiatoimittajien tarve alalla on suuri (ks. liite 10).

Vaikka useat teknologiatoimittajat ilmoittavat olevansa prosessiratkaisujen toimittajia, on se hyvin harhaanjohtava ilmaisu. Valtaosa näistä mainituista prosessiratkaisuista ovat hyvin yksinkertaisia erotusprosesseja kuten esimerkiksi hienonnus, kuljetus, luokitus ja magneettinen erotus. Aidosti innovatiivisia teknologiatoimittajia on alalla hyvin vähän. Lisäksi teknologiatoimittajien ammattimaisuus on puutteellista. Haastateltavat ilmaisivat tyytymättömyytensä huoltosopimukseen sekä hankittujen ratkaisujen ja laitteiden dokumentaatioihin ja markkinointimateriaaleihin.

Teknologiatoimittajassa arvostetaan teknologiajohtajuutta sekä ylläpitokustannuksiltaan alhaisia ja ympäristöystävällisiä prosessiratkaisuja. Tämän lisäksi on tärkeää, että teknologiatoimittaja sitoutuu asiakastukeen (ks. liite 7). Teknologiatoimittajan kartoittamisessa hyödyllisiä tietolähteitä ovat kollegat ja teknologiamessut. Tärkeimmät Eruoopassa järjestettävät ympäristöalan tapahtumat ovat IFAT (International Trade Fair for Water – Sewage – Refuse – Recycling) ja Entsorga Enteco (International Trade Fair for Waste Management and Environmental Technology). Teknologiatoimittajan vaihtamiseen vaikuttaa pääasiassa kolme asiaa ja ne ovat:

- hinta
- kilpailijan parempi tuote ts. innovaatio
- huonot kokemukset edellisistä toimituksista.

Kenelläkään haastateltavista yrityksistä ei ollut ns. hovihankkijaa, joka toimittaisi kaikki teknologiaratkaisut. Tällainen toimintamalli sai ristiriitaisen vastaanoton. Jotkut pitivät ajatusta hyvänä, toiset huonona. Suurin syy pessimismiin oli, että ei uskottu yhden yrityksen pystyvän tarjoamaan kaikkia tarvittavia teknisiä ratkaisuja.

Outotecin tunnettuus kierrätysyritysten keskuudessa on kohtalaista. Noin kolmannes markkinakyselyyn vastanneista tunnisti yrityksen. Kaikki vastaajat, jotka ilmoittivat tunnistavansa yrityksen, ilmoittivat pitävänsä Outotecia kiinnostavana teknologiatoimittajana kierrätysliiketoiminnassa (ks. liite 12). Haastattelujen perusteella voidaan todeta, että Suomessa kierrätysyritykset tunnistivat Outotecin melko hyvin, kun taas Ruotsissa ja Keski-Euroopassa tunnettuus oli heikkoa.

5.4.5 Tulevaisuus

Tärkeitä jätelajeita tulevaisuudessa ovat erilaiset metallit, elektroniikkaromu, muovit, maa-alueiden puhdistus, rakennusjäte ja yhdyskuntajäte.

Metallien kasvava merkitys kierrätyksessä selittyy uusiutumattomien materiaalien kysynnän kasvulla, metallien hyvällä kierrätettävyydellä ja metalleissa tulee panostaa vaikeasti tunnistettavien seosten hyötykäyttöön. Elektroniikkaromulle löytyy jatkossakin taloudellisesti kannattavia jatkokäsittelymahdollisuuksia, esimerkiksi komponenttien uudelleenkäyttö ja eri metallien hyödyntäminen. Jalometallien tehokas kierrätys on SER:n tärkeimpiä kehitysalueita. Sähkö- ja elektroniikkaromusta syntyvä muovijäte on myös kehitysalue, jonka hyödyntämistä on pakko tehostaa tulevaisuudessa. Rakennus-, purku- ja

yhdyskuntajätettä syntyy jatkossakin runsaasti, joten tarve kaikkien kolmen jätejakeiden hyötykäytölle kasvaa, koska niiden loppusijoittamista täytyy vähentää. Erityisesti Itä-Euroopan maissa on purkutoiminnan ja uudisrakentamisen kasvu lisännyt tarvetta tehostaa rakennus- ja purkujätteiden kierrättämistä. Vaikeasti hyödynnettävä, mutta vastaavasti tarpeen kautta kasvava toimiala, on saastuneiden maa-alueiden käsittely ja kunnostus. Kemikaalien, öljyjen yms. ympäristölle ja terveydelle haitallisten aineiden kuljettaminen todennäköisesti lisääntyy tulevaisuudessa – siksi myös ympäristökatastrofien, kuten öljyonnettomuuksien ja tulvien ehkäisy ja jälkihoito ovat tulevaisuudessa merkittäviä toimialoja.

Jättemassojen määrästä keskusteltaessa kävi ilmi, että teollisuus pyrkii vähentämään tuotannossa syntyvän jätteen määrää. Tarkasteltaessa teollisuuden jättemääriä voidaan näin ollen olettaa, että ne tulevat vähenemään pitkällä aikavälillä. Tuotannosta syntyvän jätteen ennaltaehkäisy on kasvava trendi. Teknologiatoimittajalta vaaditaan yhä ympäristöystävällisempiä laitos- ja teknologiaratkaisuja (ks. liite 7). Kuluttajan käyttäytymistä ja sitä kautta syntyvää kotitalousjätteen määrää ei selvitetty kyseisissä haastatteluissa.

"Teollisuuden tuotantolaitokset pyrkivät optimoimaan prosessejaan yhä tehokkaammiksi, jolloin myös jätettä syntyy vähemmän. Tuotannon siirtyessä halpatyövoiman maihin, kokonaisjättemäärät vähenevät Euroopassa." (Liiketoimintajohtaja, Suomi)

Yritysten konsentroituminen on ollut erittäin vahvaa viimeisen vuosikymmenen aikana. Yritysostoja ja yritysten fuusioita on tapahtunut paljon ja tämän trendin uskotaan jatkuvan. Isot kierrätysyritykset jatkavat kasvuaan tarjoamalla palveluja koko liiketoiminta-alueelle kun taas pienet yritykset joutuvat keskittymään entistä vahvemmin erityisosaamiseensa. Suljettujen kiertojen, kierrätysasteiden tehostamisen, polttoainekustannusten nousun ja teollisuuden vertikaalisen integroitumiskehityksen myötä kierrätysliiketoiminnassa on entistä suuremmat tarpeet logistiikanhallinnalle sekä liiketalous- ja prosessiosaamiselle.

"Kierrätysala on melko pääomavaltainen ala. Ympäristökriteereiden kasvaessa, investointikustannukset ovat lisääntyneet. Kierrätyspalveluja tarjoavan yrityksen tulee

pystyä toimimaan kaikilla kierrätyksen sektoreilla, joka edellyttää tietotaitoa sekä resursseja.” (Varatoimitusjohtaja, Suomi)

Menestyäkseen alalla tulee sekä kierrätysyrityksen että teknologiatoimittajan hallita yhä paremmin koko kierrätysketju. Yksittäiseen materiaalijakeeseen tai laitteeseen keskittyvä tietotaito ei tule riittämään jatkossa. Kierrätysyritykset ja teknologiatoimittajat, jotka hallitsevat koko kierrätysketjun ja joilta löytyy osaamista myös mekaanisen kierrätystekniikan ulkopuolelta, ovat vahvassa asemassa tulevaisuudessa

6 Johtopäätökset

Tässä luvussa arvioidaan Outotec Mineralsin teknologioiden yhtymäkohtia kierrätystekniikkaan. Lisäksi luvussa esitetään kehityskohteita, joilla voidaan tarkoittaa liiketoiminta-aluetta tai yksittäistä teknologiaa. Johtopäätöksiä kirjoittamisen apuna käytettiin markkinatutkimusta ja kirjallisuusosiota.

6.1 Outotec Mineralsin yhtymäkohdat kierrätysteknologiassa

Tarkasteltaessa yhtymäkohtia Outotec Mineralsin teknologiatuoteportfolion ja kierrätysliiketoiminnassa käytettyjen teknologioiden välillä, voidaan ensimmäinen jaottelu tehdä kuiva- ja märkäprosessien mukaan. Kuten markkinatutkimuksessa mainittiin, ovat kuivaprosessit yleistyneet tutkimuksessa käsitellyillä liiketoiminta-alueilla. Sovelluskohteita löytyy myös märkäprosesseille kuten vaahdotukselle ja sakeutukselle tai selkeytykselle.

Vaahdotusta on lähinnä kokeiltu muovien erotuksessa, mutta menetelmä on osoittautunut hankalaksi. Likaantuneen ja sekalaisen muovijätteen pintaominaisuudet ovat hyvin vaihtelevia, jolloin muovijakeet käyttäytyvät ennalta arvaamattomasti vaahdotusprosessissa. Vaahdotusta ei pidetä lupaavana menetelmänä muovien erotuksessa. (Dalmijn 2008)

Sakeutusta ja selkeytystä on sovellettu useissa eri nestemäisten jätevirtojen puhdistusprosesseissa. Esimerkkeinä voidaan mainita: (Henriksson 2008)

- jäteveden käsittely
- kemian teollisuus
- lääketeollisuus
- elintarviketeollisuus
- suolanpoisto
- sokerin tuotanto.

Selviä yhtymäkohtia mekaaniseen kierrätykseen voidaan todeta olevan fysikaalisissa erotusmenetelmissä. Outotec Mineralsilla fysikaaliset erotusmenetelmät jakautuvat kolmeen alueeseen, ja ne ovat:

- ominaispainoerotus
- magneettinen erotus

- elektrostaattinen erotus.

Outotec Mineralsin ominaispainoon perustuvat erotusmenetelmät ovat märkäprosesseja. Magneettiset ja elektrostaattiset erotukset ovat kuivaprosesseja. Pyörrevirtaerottimien puuttuminen yrityksen tuoteportfolioista heikentää merkittävästi mahdollisuuksia toimia fysikaalisten erotusmenetelmien teknologiatoimittajana kierrätysliiketoiminnassa. Pyörrevirtaerotin on yksi tärkeimmistä erotusmenetelmistä metallien kierrätyksessä.

6.1.1 Ominaispainoerotus

Yleisimmät kuivaerotusmenetelmät kierrätystekniikassa ovat ilmaluokitus, jonka avulla voidaan erottaa kevytjäte raskaasta sekä erityyppiset tärypöytäsovellukset, jota käytetään esimerkiksi SER:n kierrätyksessä.

Yleisimmät märkäerotusmenetelmät puolestaan ovat sink-float ts. upotus-kellutus, tärypöydät ja spiraalit. Spiraaleja ja tärypöytiä käytetään lähinnä maanpuhdistusprosesseissa. Maanpuhdistustekniikassa käytetyt laitteistot ovat sovelluksia mineraalien rikastustekniikasta, mutta itse pesuprosessi eroaa kuitenkin tavallisesta mineraalien rikastamisesta: (Niemelä, 2008)

- Maanpesussa on tarkoituksena poistaa maaperästä kaikki epäpuhtaudet ilman erityistä selektiivisyyttä.
- Epäpuhtaustyypit ja epäpuhtauksien pitoisuudet vaihtelevat kunnostettavalla maa-alueella.
- Maanpesuprosessissa esiintyy aina merkittävä määrä karkeaa materiaalia, joka ei sovellu jauhattavaksi. Karkean materiaalin erillinen käsittely vaatii prosessilta paljon enemmän aikaa.

Selvä trendi maanpesuprosessissa on liikuteltavien pesulaitosten yleistyminen.

Murskalaitoksissa syntyvän ei-rautametallisen jakeen erotukseen on sovellettu sink-float -erotusta. Esimerkkinä käytetään Kuusakoski Oy:n käsittelyprosessissa käytetty sink-float -menetelmää, joka on kaksivaiheinen erotusmenetelmä. Ensimmäisessä vaiheessa väliaineena on magnetiittisuspensio, jonka avulla tiheys on säädetty n. $2,0 \text{ kg/dm}^3$. Tässä tiheydessä alumiinia kevyemmät materiaalit kuten kumi, muovit ja magnesium kelluvat. Alumiini ja muut värimetallit johdetaan seuraavaan sink-float -erotukseen, jossa väliaineen tiheys nostetaan ferropiillä n. $3,0 \text{ kg/dm}^3$. Tässä tiheydessä alumiini kelluu, ja sitä

raskaammat metallit kuten kupari, sinkki ja ruostumaton teräs vajoavat. Alumiinin seasta nousee myös kiviä ja muita epäpuhtauksia, joten alumiinifraktio puhdistetaan pyörrevirtaerottimella. (Pajunen 1998)

Sink-float -erotusmenetelmää käytetään myös mm. kevyt jakeen, kuten eri muovilaatujen ja puun, erotukseen raskaasta jakeesta. Uudet ja erotustarkkuudeltaan kehittyneet kuivaerotusmenetelmät ovat vähentäneet sink-float -erotusmenetelmän käyttökohteita eri kierrätysprosesseissa.

6.1.2 Magneettinen erotus

Magneettisella erotuksella yhtymäkohtia löytyy kuivaprosesseissa rumpu- ja rullamagneeteissa. Nämä molemmat magneettierotusmenetelmät ovat laajalti käytössä kierrätysliiketoiminnassa mm. metallin, SER:n, yhdyskuntajätteiden, maanpuhdistuksen, lasin sekä purku- ja rakennusjätteen prosessoinnissa. Teknologia on kuitenkin hyvin yleistynyt, joten varsinaista lisäarvoa on alalle vaikeaa tuoda.

Outotec Mineralsin erityisosaaminen on erittäin pienten partikkelien ($< 75 \mu\text{m}$) magneettierotuksessa. Näin pienen raekoon omaavan jakeen käsittelyä on tutkittu lähinnä jätteenpoltossa syntyvän tuhkan käsittelyssä. Tuhka voi sisältää metalleja jopa 10 p-% kokonaispainosta. Metallien talteenotto tuhkasta on tärkeää, koska suuret metallipitoisuudet esimerkiksi rakennusaineena käytettävässä tuhkassa aiheuttavat ympäristöhaittoja sekä ongelmia korroosion ja mekaanisten ominaisuuksien muodossa. Samanaikaisesti metallien talteen ottamisen kannattavuus on kasvanut. Muissa mekaanisissa kierrätysprosesseissa pienimmät raekoot ovat usein kokoluokkaa $> 5 \text{ mm}$.

6.1.3 Elektrostaattinen erotus

Outotec Mineralsin elektrostaattiset erotusmenetelmät kattavat täysin kierrätystekniikassa käytetyt elektrostaattiseen erotukseen liittyvät sovellukset. Koronaerotin on elektrostaattisen erotuksen laajimmin käytetty sovellus kierrätystekniikassa. Teknologia toimittajista Hamos on erikoistunut elektrostaattisiin erotusmenetelmiin. Elektrostaattisen erotuksen käyttökohteet kierrätystekniikassa on esitetty alakohdassa 4.3.4.

6.2 Kehityskohteet

Seuraavaksi esitetään kehityskohteita kierrätystekniikassa sekä kiinnostavia liiketoiminta-alueita. Kehityskohteet on lueteltu aakkosjärjestyksen mukaan. Esitettyihin kehityskohteisiin on hyvä suhtautua pienellä varauksella. Markkinatutkimuksen kvalitatiivisesta tutkimustavasta johtuen tutkimus sisältää paljon subjektiivisia, alan asiantuntijoiden henkilökohtaisia, mielipiteitä.

6.2.1 Automaattinen poiminta

Automaattista poimintaa on käsitelty tarkemmin alakohdassa 4.3.7.2. Tehdyn markkinatutkimuksen perusteella tämä on lupaavin yksittäinen erotustekniikka mekaanisessa kierrätyksessä, erityisesti silloin kun halutaan tuote, joka omaa tietyt spesifikaatiot. Teknologian erotustarkkuus on parantunut samalla kun sen investointikustannukset ovat laskeneet (Dalmijn 2008). Erotustarkkuus on tällä hetkellä noin > 3 mm:n luokkaa. Kehittyvän sensoritekniikan avulla pystytään materiaali karakterisoimaan yhä paremmin. Tällä hetkellä kierrätyksessä käytetään materiaalin tunnistamiseen korkeintaan kolmea sensoria yhtäaikaaisesti, kun esimerkiksi elintarviketeollisuudessa käytetään jopa kahdeksaa sensoria. Tärkeimmät kehityskohteet automaattisessa poiminnassa ovat tunnistusohjelmien kehittäminen ja kapasiteetin nostaminen. (Pretz 2008)

Kierrätysteknologioiden arvioitu vuosittainen markkinakoko automaattiselle poiminnalle oli Euroopan markkina-alueella vuonna 2003 noin 100 milj. EUR. (Genter 2003)

6.2.2 Jalometallien talteenotto

Mekaanisen kierrätyksen ongelmana on hienonnuksen ja erotustekniikoiden erittäin heikko selektiivisyys. Hienonnus on osoittautunut erittäin tärkeäksi kehityskohteeksi jalometallien mekaanisessa kierrätyksessä. Hienonnuksessa ja siihen liittyvässä pölynpoistossa jalometallien hävikki on suuri. Myös magneettierotuksessa jalometalleja kulkeutuu magneettipitoisten metallien mukana väärään jakeeseen. Mekaanisia kierrätysprosesseja ei suunnitella jalometallien talteenoton näkökulmasta, jolloin syntynyt hävikki, ennen hydro- tai pyrometallurgisia menetelmiä, on jo merkittävän suuri. Jalometallien talteenoton tehostamiseksi tulisi jalometalleja sisältävät kappaleet erottaa omiin jakeisiin heti kierrätysketjun alkupäässä. (Hagelueken 2008)

6.2.3 Landfill mining

Tehdyn markkinatutkimuksen perusteella voidaan todeta, että ”landfill mining” eli kaatopaikkakaivu on liiketoiminta-alue, jonka kasvupotentiaali herätti ristiriitaisia mielipiteitä. Lähes jokainen kierrätysyritys mainitsi kaatopaikkakaivuun lupaavana liiketoiminta-alueena, kun taas alan johtavat asiantuntijat epäilivät kaatopaikkakaivuun taloudellista kannattavuutta.

Huolimatta kaatopaikkojen teknillisestä kehityksestä ne muodostavat pitkällä tähtäimellä pohjavesien saastumiseen ja ympäristön laadun heikkenemiseen liittyvän riskin. Etenkin hyvin vanhat kaatopaikat ovat merkittävä ympäristöriski. Vanhat kaatopaikat sijaitsevat usein myös kaupungeissa sellaisilla alueilla, joiden kaavoittamiselle muuhun käyttöön on paineita. Tämä saattaa johtaa kaatopaikkojen siirtämiseen, jolloin rahanarvoiset materiaalit voidaan ehkä samalla erotella ja muu jäte polttaa, energia talteen ottaen. Kaatopaikkojen hyödyntäminen energian lisäksi myös materiaalina on siis muuttunut myös taloudellisesti yhä kiinnostavammaksi liiketoiminta-alueeksi. Kohonneet metallien hinnat ja mahdollisuudet hyödyntää jätettä energianpolton raaka-aineena ovat herättäneet kierrätysyritysten kiinnostuksen. (Forsgren 2008)

Kaatopaikkojen materiaalisäältä on monijakoinen. Suurinta partikkelikokoa edustavat kookkaat kiinteät jätteet, joita on noin 15 p-% jätteen kokonaismäärästä. Kookas kiinteä jäte on pääasiassa metallia, kumia ja muovia. Pienimmän jakeen eli ns. humuksen on arvioitu muodostavan noin 60–70 p-% jätteen kokonaismäärästä. Jäljelle jäävän keskikokoisen jätteen osuus arvioidaan olevan noin 15 p-% kokonaisjättemäärästä, jonka magneettinen rautafraktio on jopa 5 p-% kokonaisjättemäärästä. Muista metalleista alumiinia esiintyy runsaasti kaatopaikoilla, jonka erotusta esimerkiksi eddy-current -menetelmällä tutkitaan. Materiaalit kuten muovi, kumi, puu, lasi ja vaatteet ovat kiinnostavia suuren energia-arvonsa johdosta. (Itävaara 2001)

Tällä hetkellä kaatopaikkakaivu tapahtuu hyvin perinteisiä mineraalitekniikassa käytettyjä prosesseja hyväksi käyttäen. Puhdistusprosessia on tutkittu sekä kuiva että märkämenetelmin. Märkämenetelmissä lietteen käsittely sisältää sakeutuksen tai suodatuksen. Samoja puhdistusmenetelmiä käytetään perinteisessä maa-alueiden puhdistuksessa ts. maanpesussa. Käytettyjä erotustekniikoita ovat mm. seulonta, vaahdotus, ominaispainoerotus ja magneettierotus. Kehityskohteita prosessissa ovat mm. seulonta ja magneettierotus. Seulonnan heikko tarkkuus nykytekniikalla sekoittaa maa-ainesta liikaa

eroteltavaan materiaali-jakeeseen, ja magneettierotus osoittautuu usein prosessin pullonkaulaksi. Materiaaleista erityisesti puun ja kiven erotus nähtiin hankalaksi. Merkittävänä ongelmana pidetään puhdistusprosessin hidasta läpivientiaikaa, jolloin käsittelyajat venyvät liian pitkiksi ja kapasiteetti jää heikoksi. (Kaartokallio 2008)

Ammattimaiselle teknologiatoimittajalle olisi selvästi kysyntää, sillä tällä hetkellä teknologiatoimittajan rooli jää usein maarakennus urakoitsijoille. (Niemelä 2008)

6.2.4 Muovit

Muoviteollisuuden puhdas muovijäte kierrätetään suhteellisen tehokkaasti. Muovien käyttö useissa eri tuotteissa ja sovelluskohteissa on johtanut siihen, että muoveja päätyy jätteeksi kaikilta teollisuuden aloilta ja kotitalouksista. Ongelman muodostaa likaantunut sekamuovijäte, jonka kierrättäminen on hyvin hankalaa. (Bolander 2008)

Mekaaninen kierrätystekniikka tarjoaa useita menetelmiä muovien materiaali-kierrätykseen. Menetelmiä ovat mm. elektrostaattinen erotus, automatisoidut poimurit, ominaispainoerotus ja vaahdotus. Näistä menetelmistä automaattinen poiminta on lupaavin kehityskohde. (Pretz & Dalmijn 2008)

Kemialliset prosessit ovat lupaavia käsittelymenetelmiä kun käsitellään suuria eriä sekalaista ja likaantunutta muovijätettä. Riippuen polymeerityypistä prosessivalinta on jokin seuraavista: (Scheirs 1998)

- **Pyrolyysi (pyrolysis):** Molekyyli-rakenne rikotaan vakuumikuumennuksessa. Prosessi tuottaa kaasua tai nestemäisen hiilivetyseoksen, joka voidaan prosessoida edelleen jalostamossa.
- **Vedytys (hydration):** Muovit kuumennetaan vedyn kanssa, polymeeriketjut pilkkoutuvat arvokkaaksi hiilivetyöljyksi, joka voidaan käyttää uudelleen jalostamossa tai kemianteollisuudessa.
- **Kaasutus (gasification):** Muovit kuumennetaan ilman tai hapen kanssa. Tuloksena syntyvää synteesikaasua, joka koostuu hiilimonoksidista ja vedystä, voidaan käyttää metanolin tai ammoniakkin valmistukseen tai jopa pelkistimenä masuunissa.
- **Kemolyysi (chemolysis):** Depolymerointiprosessia soveltamalla polyesterit, polyuretaanit ja polyamidit voidaan kierrättää takaisin perusmonomeereiksi ja polymerisoida uudelleen alkuperäisiksi muoveiksi.

Muovien osalta voidaan sanoa kierrätyksen olevan teknisesti mahdollista lähes kaikille muovityypeille lähes kaikissa muodoissa (Bolander 2008). Muovien kierrätyksen ongelmana on kuitenkin prosessoinnin kalleus verrattuna uusiomateriaalin arvoon sekä sen raaka-aineen, eli öljyn hinnanvaihtelu. Muovien kierrätyksen taloudellinen kannattavuus on kohonnut viime vuosina ja muovien hinnan nousun uskotaan jatkuvan myös tulevaisuudessa. Kuten kohdassa 3.7 todettiin on muovien kulutus kasvanut noin 4 % vuosinopeudella. Teknologiaoimittajan näkökulmasta muovit ovat tärkeä ja kiinnostava materiaali-alue, jonka kierrätyksessä on vielä paljon parannettavaa.

6.2.5 Online-laadunvalvonta

Online-laadunvalvonta on kierrätystekniikassa todella puutteellista (Hagelueken 2008). Markkinatutkimus osoitti, että laadunvalvonta on kehityskohde, vaikkakin kierrätysyritykset eivät nostaneet laadunvalvontaa tärkeimpiin kehitysalueisiin (ks. liite 8). Outotec Mineralsilla on vahvaa osaamista analysointimittausmenetelmissä, mutta yrityksen menetelmät ovat märkämenetelmiä, jolloin yhtymäkohtia mekaaniseen kierrätykseen on vaikeaa löytää.

Työn kirjoitushetkellä online-laadunvalvontaa on tutkittu lähinnä kierrätyspolttoaineiden laadun hallinnassa. Tutkimuksen kohteena on ollut röntgenfluoresenssianalyysin soveltuvuus kierrätyspolttoaineiden kriittisten haitta-aineiden, lähinnä arseenin, kromin, kuparin ja kloorin tunnistamiseen ja määrittämiseen.

6.2.6 Polttotekniikat

Sekä yhdyskuntajätteiden että sähkö- ja elektroniikkaromun jätejakeiden polttotekniikoissa on parannettavaa useiden eri materiaalien talteenoton osalta, esimerkiksi metallien. Metallien pitoisuudet ovat polton jälkeen erittäin korkeat, joka tekee siitä kiinnostavan jakeen talteenotettavaksi. Polttouunit, jotka konsentroisivat metalleja ts. metallien rikastus pyrometallurgisesti on kiinnostava kehityskohde.

Jätteiden sisältämät suuret lämpösisällöt aiheuttavat kasvavia ongelmia jätteenpoltossa. Tehostuneet jätteiden erotustekniikat ovat lisänneet poltettavien jätejakeiden lämpösisältöä. Lämpötilan noustessa liian korkealle, täytyy kapasiteetti laskea tai hidastaa polttoprosessin nopeutta. Lämmön hallintaan liittyvä ongelma on myös metallien eri sulamispisteet. Alhaisen sulamispisteen omaavat metallit oksidoituvat polttoprosessissa, jolloin niiden talteenottaminen on hyvin hankalaa.

6.2.7 Sähkö- ja elektroniikkaromu

Sähkö- ja elektroniikkaromun kierrättämiselle löytyy liiketoiminnan näkökulmasta hyvät edellytykset. SER sisältää paljon arvometalleja, sen volyymit ovat suuret, SE-laitteiden kulutus kasvaa ja kierrätyksellä on positiiviset ympäristövaikutukset. Tästä huolimatta vain murto-osa SER:sta kierrätetään asianmukaisesti. Syitä ovat mm. puutteellinen SER:n talteenottojärjestelmä, alkeelliset esikäsittelymenetelmät ja väärin valitut tai puutteelliset kierrätysprosessit.

Sähkö- ja elektroniikkaromun mekaanisessa kierrätyksessä on tärkeää löytää oikea tasapaino pitoisuuden ja saannin välillä. Jätteiden massaansa sidottujen kierrätystavoitteiden sijasta tulisi tarkastella tarkemmin mitä materiaaleja saadaan tehokkaasti kierrätettyä ja miten eri materiaalien arvo jakautuu SER:n kokonaisarvoa tarkasteltaessa. SE-laitteesta riippuen on arvioitu, että jalometallit muodostavat noin 40–70 % SE-laitteen kierrätysarvosta. SER:n kokonaismassasta jalometallien osuus on alle 0,1 p-%. (Cui & Forsberg 2003)

Erilaiset liuotustekniikat kuten kuningasvesi-, tiourea- ja tiosulfaattiliuotus ovat lupaavia kehityskohteita metallien talteenottamiseksi SER:sta.

Kierrätysteknologioiden arvioitu vuosittainen markkinakoko sähkö- ja elektroniikkaromulle oli Euroopan markkina-alueella vuonna 2003 noin 50 milj. EUR. (Genter 2003)

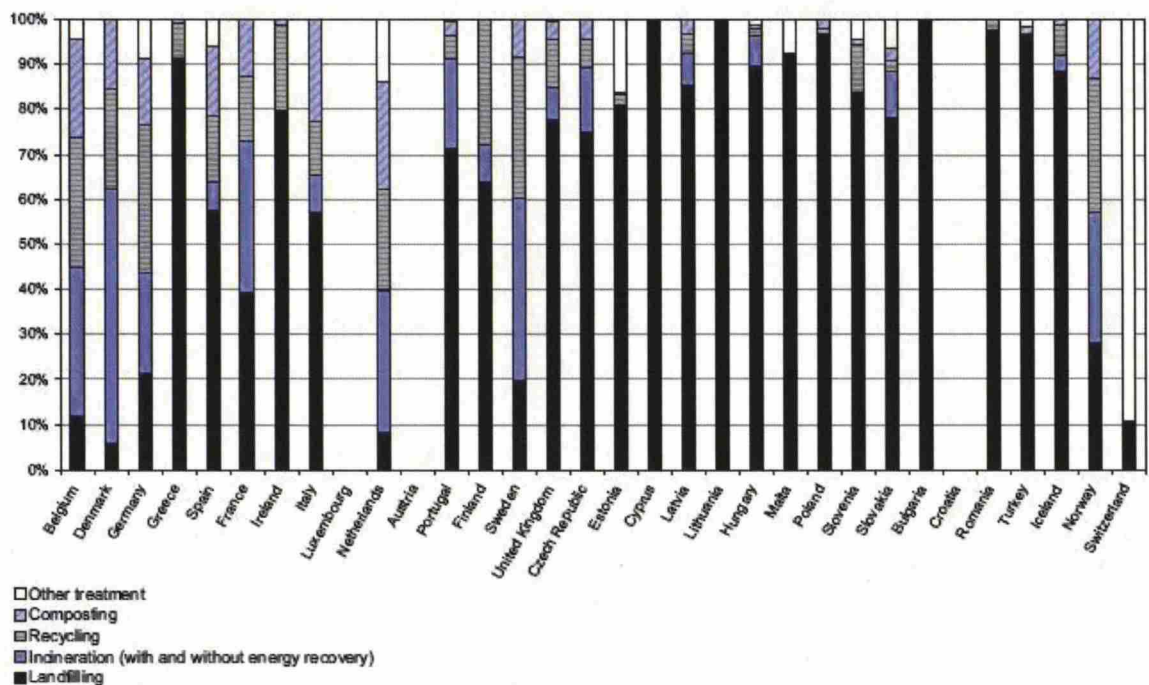
6.2.8 Yhdyskuntajätteet

Markkinatutkimuksessa kaikki haastateltavat henkilöt mainitsivat yhdyskuntajätteet tärkeäksi kehityskohteeksi tulevaisuudessa. Yhdyskuntajätteen määrät ovat suuret ja niiden hyötykäytössä on paljon parannettavaa. Biopolttoaine on hyvä esimerkki lupaavasta kehityskohteesta yhdyskuntajätteiden hyötykäyttämiseksi. Suomessa St1 on aloittanut biopolttoaineiden tuotannon. Menetelmä perustuu VTT:n kehittämään prosessiin, jolla etanolia valmistetaan kotimaisessa elintarviketeollisuudessa syntyvistä jätteistä niiden syntypaikalla. Uudella prosessointimenetelmällä etanolin valmistus on kannattavaa pienessäkin mittakaavassa. (Bolander 2008)

Euroopassa esiintyy hyvin erilaisia jätehuollon järjestelmiä ja perusratkaisuja. Monissa EU-maissa, joissa jätelainsäädännön toimeenpano on jo pitkällä, jätedirektiivit ohjaavat myös käytännön jätehuollon toimintaa. Myös EU:n jäsenyyttä hakeneet maat ovat jo käynnistäneet jätelainsäädännön harmonisoinnin ja niissäkin jätehuollon markkinoita ohjaa

voimakkaasti jätelainsäädännön kehitys. Suurin vaikutus on kaatopaikkadirektiivillä, joka on asettanut rajoituksia tiettyntyyppisten materiaalien (esimerkiksi biohajoavien jätteiden) kaatopaikkasijoitukselle. Tällaiset vaatimukset yhdessä jätemaksujen ja -verotuksen käyttöönoton myötä edellyttävät jätehuolto- ja kierrätysjärjestelmien tehostamista ja kehittämistä. Tämä trendi on vahvasti läsnä kaikilla kierrätykseen liittyvillä liiketoiminta-aloilla, joissa loppusijoituksen osuus eri käsittelymenetelmistä on tällä hetkellä suuri. (Bolander 2008)

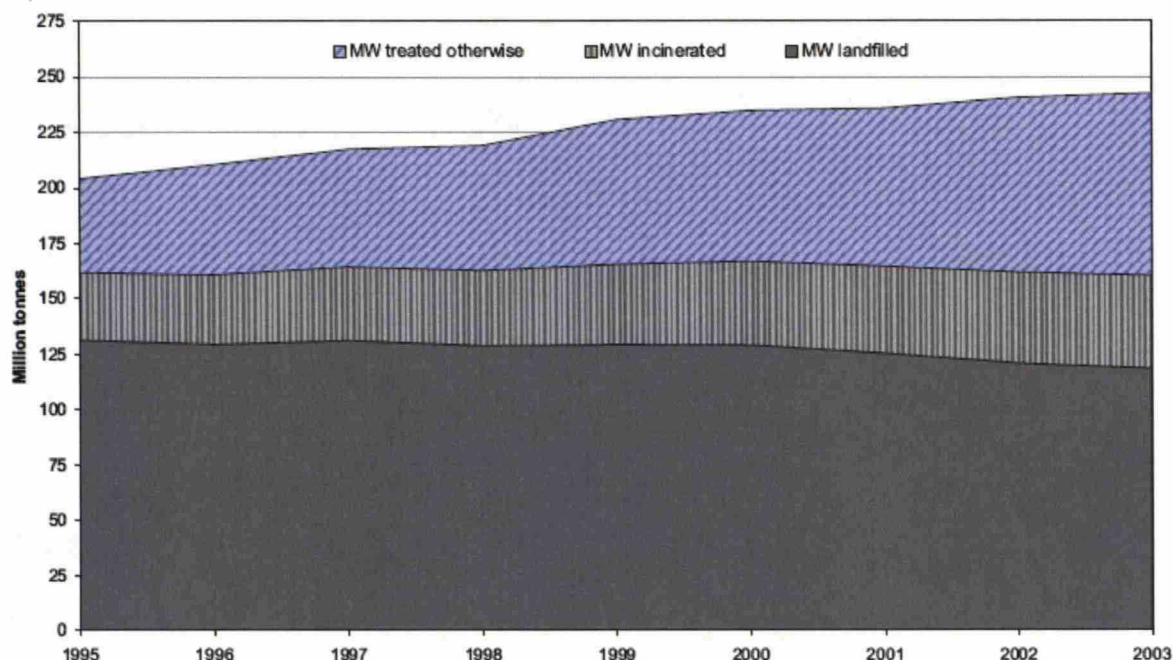
Huolimatta esimerkiksi EU-direktiivien voimakkaasti ohjaavasta vaikutuksesta, jätehuollon järjestäminen on kansallinen, strateginen kysymys, jonka suhteen eri maat haluavat tehdä ja noudattaa omia linjauksiaan. Kuvassa 32 on esitetty yhdyskuntajätteiden käsittelyn yleisimmät menetelmät Euroopassa. Erityisen kiinnostavia kierrätysteknologian vientimaita ovat maat, joissa loppusijoituksen osuus on suuri, sillä näissä maissa joudutaan panostamaan vahvasti kierrätysprosessien kehittämiseen tulevaisuudessa.



Kuva 32. Yhdyskuntajätteen käsittelytavat Euroopassa vuonna 2002. (EUROSTAT 2008)

Myös niissä maissa, joissa ns. jätteen massapoltto on yleistä (ks. kuva 32, esimerkiksi Sveitsi, Tanska, Ruotsi, Alankomaat, Ranska ja Saksa) on tulevaisuudessa tarvetta muihinkin jätehuoltoratkaisuihin. Toisaalta tämän aiheuttavat EU-lainsäädännön vaatimukset tiukempine päästörajoineen ja toisaalta polttoteknologioiden vanheneminen

sekä kiinnostus etsiä vaihtoehtoisia ratkaisuja. Massapolton väheneminen suhteessa hyötykäytön kasvuun on jo nähtävissä kuvassa 33. (Kokko 2001)



Kuva 33. Yhdyskuntajätteen määrät ja käsittelymenetelmät Euroopassa vuosina 1995–2003. (EUROSTAT 2008)

EU-markkinat ovat kiinnostavia mm. biologisten jätteenkäsittelytekniikoiden ja yksittäisten jätefraktioiden kierrätyksen kehittämisen suhteen. Osa Euroopan markkinoista (esimerkiksi Saksa) on suuruudestaan huolimatta hyvin kilpailtu, ja osaaminen on teknisesti samalla tasolla tai parempaa kuin Suomessa. Itä-Euroopan maat voidaan nähdä hyvänä vientikohteena, sillä yhdyskuntajätteen kierrätysprosessit kehittyvät näissä maissa jatkuvasti. Itä-Euroopan maista Puola, Tšekki sekä Unkari ovat väkiluvultaan suurimmat maat ja tarjoavat tässä mielessä suurimman potentiaalin myös yhdyskuntajätehuollon markkinoiden kannalta. (Mustonen 2008)

Suunniteltaessa jätteiden prosessointilaitoksia on hyvin tärkeää huomioida jätteen koostumuksen erot eri Euroopan maiden välillä. Erityisesti yhdyskuntajätteiden materiaaliakoostumuksissa on havaittu huomattavia eroja. Nämä koostumuserot ovat vaikuttaneet ratkaisevasti hyödynnettävissä oleviin käsittelymenetelmiin. (Bolander 2008)

7 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää yhteyksiä kierrätysliiketoiminnan ja mineraaliteknologian välillä. Tutkimuksen kirjallisuusosassa kuvailtiin kierrätyksen eri liiketoiminta-aloja ja niissä käytettyjä teknologioita. Markkinatutkimuksessa haastateltiin useita alan asiantuntijoita ja julkaistiin markkinakysely, jonka tavoitteena oli selvittää kierrätysyritysten liiketoimintaa ja heidän käytössä olevia mekaaniseen prosessointiin liittyviä teknologioita.

Työn hypoteesina oli, että kaivosteollisuudessa toimivia prosesseja voitaisiin yhdistää kierrätysliiketoiminnassa käytettyihin prosesseihin nykyistä enemmän. Markkinatutkimus osoitti hypoteesin osittain vääräksi. Samalla kun yhtymäkohtia on useita, voidaan todeta, että varsinaisia kehitysalueita on vähän. Mekaanista kierrätystä on tutkittu jo kauan, ja tämän hetken lupaavin sovellus mekaanisessa kierrätyksessä, automaattinen poiminta, tulee sekin elintarviketeollisuudesta.

Yrityksen tämän hetkisellä teknologialla vahvimmat yhtymäkohdat mekaaniseen kierrätystekniikkaan ovat fysikaalisissa erotusmenetelmissä, pois lukien pyörrevirtaerotin, jonka puuttuminen on merkittävää. Pyörrevirtaerotin on yksi tärkeimpiä metallinerotusmenetelmiä mekaanisessa kierrätystekniikassa. Lisäksi on huomioitava, että fysikaalisille erotusmenetelmille löytyy jo ammattitaitoisia teknologiatoimittajia erityisesti Saksasta. Toinen merkittävä heikkous on kierrätyksessä käytettyjen hienonnustekniikoiden puuttuminen Outotec Mineralsin tuoteportfolioista, lukuun ottamatta yhdyskuntajätteiden hienonnuksessa sovellettua SAG-myllyä. Mekaaniseen prosessointiin perustuvassa kierrätystekniikassa käytetään shreddereitä ja leikkureita jätteen partikkelikoon pienentämisessä. Ilman edellä mainittuja teknologioita teknologiatoimittajan on mahdotonta toimittaa kokonaisvaltaisia prosessiratkaisuja.

Varsinaisia kehitysalueita mekaanisessa kierrätyksessä on koko kierrätysketjun ymmärtäminen ja sen optimointi. Yksittäisiin ja omiin laitteisiin keskittyvät laitetoimittajat eivät pysty optimoimaan koko kierrätysprosessia. Lukumäärältään useat ja väärin valitut välivaiheet heikentävät materiaalien kierrätysastetta. Muita potentiaalisia kehitysalueita ovat selektiivinen hienonnus, automaattinen poiminta ja online- laadunvalvonta.

Kirjallisuusosiossa mainituista liiketoiminta-alueista sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätys osoittautui markkinatutkimuksen perusteella tärkeäksi. Erityisesti jalometallien talteenottoa

täytyy tehostaa tulevaisuudessa. Selviä kehityskohteita ja lupaavia liiketoiminta-alueita ovat myös ”landfill mining” eli kaatopaikkakaivuu sekä muovi- ja yhdyskuntajätteen kierrätys.

Vaikkakin teollistumisaste on vähäisempää kierrätysliiketoiminnassa kuin perinteisessä mineraali- ja kaivosteollisuudessa, ovat muutokset ajattelumaailmassa jo nähtävissä. Markkinatutkimus osoitti, että kierrätysyritykset tiedostavat prosessiensa puutteellisuudet ja haluavat panostaa niihin. Kysymys on lähinnä kierrätyksen kannalta oikean ja taloudellisesti kannattavan teknologian löytämisestä ja sen implementoinnista.

Outotec pystyy tarjoamaan kierrätysteknologiamarkkinoille varsinaista lisäarvoa, jotain uutta, mikäli se onnistuu yhdistämään kolmen liiketoimintadivisioonansa osaamista. Mekaanisille prosessiratkaisuille sekä hydro- ja pyrometallurgisille prosessiratkaisulle löytyy tarvetta kierrätysliiketoiminnassa, ja markkinatutkimuksen mukaan tällaista teknologiatoimittajaa ei alalta löydy.

Base Metals- ja Metals Processing -divisioonat jäivät tämän diplomityön ulkopuolelle. Molempien divisioonien osaamisalueet tarvitsevat jatkotutkimusta. Erityisesti pyrometallurgiset metallien rikastusmenetelmät ja erilaiset liuotustekniikat ovat kiinnostavia kehityskohteita kierrätyksen näkökulmasta.

Lähdeluettelo

Airas 2008

Airas Risto. Stena Metalli Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 13.05.2008.

Alakangas 2000

Alakangas, E. *Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia*. VTT tiedotteita 2045. Espoo, 2000. 172 s.

Andres 1998

Andres, U. *Separation of NonFerrous Scrap Metals. Aufbereitungs Technik*, 1998. Vol 41. 84 s.

Anon 1998

Anon. Binder + Co AG. Waste Glass with Optimum Color Purity. Germany, 1998. 8 s.

Anvava et al. 2001

Anvava, J., Ekholm, E., Ikäheimo, E., Koskela, K., Kurvi, M., Walavaara, M. *Jätehuollon ja materiaali kierrätyksen teknologiat ja niiden kehittämistarpeet*, TEKES, 2001. 45 s.

Beenkeen 1992

Beenkeen, W. *Minerals Processing Technology, the Key to Recycling*. Aufbereitungs Technik, 1992. Vol 33, nro 7, 672 s.

Bolander 2008

Bolander Osmo. Lassila & Tikanoja Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 28.07.2008.

Brunning 1995

Brunning, H. *Flotation in Contaminated Soils and Prospects for their Separation*. Kluwer Academic Publisher. Netherlands 1995. 860 s.

CEPI 2008

CEPI. Confederation of European Paper Industries.

<http://www.cepi.org/Content/Default.asp?>. 01.10.2008

Cui & Forssberg 2003

Cui, J., Forssberg, E. *Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment*. Journal of Hazardous Materials. Elsevier Science B.V. 2003. 243-263 s.

Dalmijn 2008

Dalmijn Wijnand. Henkilökohtainen tiedonanto. Amsterdam, 25.09.2008.

Dammert 1994

Dammert, T. *Materiaalien kierrätys ja kierrätystoiminnan logistiikka*. TKK, Koneensuunnitteluopin laboratorion julkaisu, Sarja C 263. Otaniemi 1994. 40 s.

de Vries et al. 2000

de Vries, R., Meijer, R., Hietanen, L., Lohiniva, E., Sipilä, K. *Evaluation of the Dutch and Finnish situation of energy recovery from biomass and waste*. TEKES. Technology review 99/2000. Helsinki, 2000. 113 p.

eForce 2008

eForce, Electrostatic Separator. Markkinointimateriaali. Outotec Minerals, 2008.

Ekberg 2008

Ekberg Christian. Chalmers University of Technology. Henkilökohtainen tiedonanto. Göteborg, 04.07.2008.

Energetics 2001

Energetics, Incorporated. *A Roadmap for Recycling End-of-Life Vehicles of the Future*. U.S. Department of Energy's Office of Advanced Automotive Technologies and Argonne National Laboratory. 2001.36 s.

ERPA 2008

ERPA – Europe Recovered Paper Association. <http://www.erpa.info/index.html>, 14.07.2008

Eskola & Suoranta 1999

Eskola, J., Suoranta, J. *Johdatus laadullisen tutkimukseen*. Vastapaino. 1999. 268 s.

EUROSTAT 2008

EUROSTAT. European Commission. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>. 01.10.2008

FEVE 2008

FEVE – European Container Glass Federation. <http://www.feve.org/>, elokuu 2008

Forsgren 2008

Forsgren Christer. Stena Metall Ab. Henkilökohtainen tiedonanto. Göteborg, 04.07.2008.

Genter 2003

Genter, C. Innovative waste management products, European market survey. Technology review 147/2003. TEKES. Helsinki, 2003. 47 s.

Goosey 2004

Goosey, M. *End-of-life Electronics Legislation – an Industry Perspective*. Circuit World. 2004. 67 s.

Hagelueken 2008

Hagelueken, C. Umicore. Henkilökohtainen tiedonanto. Hanau, 26.09.2008.

Hague & Jackson 1999

Hague, P., Jackson, P. *Market Research: A guide to planning methodology and evaluation*. Kogan Page. 1999. 239 s.

Haikka 2007

Haikka, T. Teräs Suomen Kansantaloudessa – kokonaisvaranto, teräsvirrat ja kierrätys. Metallinjalostajat Ry. Helsinki, 2007. 45 s.

Henriksson 2008

Henriksson Brandt. Outotec Minerals, Canada. Henkilökohtainen tiedonanto. 30.09.2008.

Hirsjärvi & Hurme 1995

Hirsjärvi, S., Hurme, H. *Teemahaastattelu*. 7. painos. Helsinki, 1995. 144 s.

Hirsjärvi & Huttunen, 1995

Hirsjärvi, S., Huttunen, J. *Johdatus kasvatustieteeseen*. Porvoo, WSOY 1995.

Huhtinen et al. 2007

Huhtinen, K., Lilja, R., Sokka, L., Salmenperä, H., Runsten, S. *Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016*. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki 2007. 123 s.

ICSG 2008

ICSG. International Copper Study Group. <http://www.icsg.org/>. 01.10.2008

IISI 2008

IISI. International Iron and Steel Institute. <http://www.worldsteel.org/>. 01.10.2008

Itävaara 2001

Itävaara, M. *Jätevirtojen hallinta USA:ssa*. VTT Biotekniikka. Espoo, 2001. 82 s.

Juutinen & Mäenpää 1998

Juutinen, A., Mäenpää, I. *Metallijätteiden kierrätyksen talous ja ympäristövaikutukset*. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö (ympäristöpolitiikka) 216. Oy Edita Ab, Helsinki 1998. 93 s.

Jäteplus 2008

Jäteplus. Jätehuoltoyhdistys ry:n jäsenlehti. nro. 3. 2008. 19 s.

Jätteenpolttodirektiivi 2008

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:332:0091:0111:FI:PDF>.
2000/76/EC. 01.09.2008.

Kaartokallio 2008

Kaartokallio Antti. Ekokem Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 03.10.2008.

Kaatopaikkadirektiivi 2008

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0019:FI:PDF>.
1999/31/EY. 01.09.2008.

Keräysviesti 2007

Keräysviesti. Paperinkeräys-yhtiöiden lehti. nro. 3. Frenckellin kirjapaino. Helsinki, 2007. 24 s.

Kokko 2001

Kokko, S. *Jätteiden energiakäytön näkymät Euroopassa liejunkerrospolton kannalta*. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu. Lappeenrata, 2001. 91 s.

Koskinen 2008

Koskinen Kari-Pekka. Stena Metalli Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Pori, 17.09.2008.

Kunnari 2008

Kunnari Pekka. Stena Metall Ab. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 22.05.2008.

Laaksonen 2008

Laaksonen Kimmo. Stena Metalli Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 04.06.2008.

Laine-Ylijoki et al. 2003

Laine-Ylijoki, J., Syrjä, J.-J., Wahlström, M. *Röntgenfluoresenssimenetelmät kierrätyspolttoaineiden pikalaadunvalvonnassa*. VTT Prosessit. Espoo, 2003. 51 s.

Laine-Ylijoki et al. 2005

Laine-Ylijoki, J., Mroueh, J.-M., Vahanne, P., Wahlström, M., Vestola, E., Salonen, S., Havukainen, J. *Yhdyskuntajätteiden Termisen Käsittelyn Kuonista ja Tuhkista Hyötykäytettäviä ja Loppusijoitettavia Tuotteita*. VTT Prosessit. Helsinki, 2005. 92 s.

Lohila et al. 2000

Lohila, A., Hyvönen, J., Liesivori, J. *Jätehuoltoketjun terveys- ja ympäristövaarat: nykytila ja kehitystarpeet*. Kuopion aluetyöterveyslaitos. Kuopio, 2000. 98 s.

Ludwig et al. 2003

Ludwig, C., Hellweg, S., Stucki, S. *Municipal Solid Waste Management: Strategies and Technologies for Sustainable Solutions*. Berlin, 2003. 534 s.

Lukkarinen 1985

Lukkarinen, T. *Mineraalitekniikka 1*. Insinööritieto Oy. 2. painos 1985. 329 s.

Lukkarinen 1987

Lukkarinen, T. *Mineraalitekniikka 2*. Insinööritieto Oy. 1. painos 1987. 442 s.

Lund 1993

Lund F. H. *The McGraw-Hill Recycling Handbook*. McGraw-Hill, Inc. USA, 1993. 940 s.

Melanen et al. 2000

Melanen, M., Palperi, M., Viitanen, M., Dahlbo, H., Uusitalo, S., Juutinen, A., Lohi, T.-K., Koskela, S., Seppälä, J. *Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa*. Suomen ympäristö 408. Suomen Ympäristökeskus. Oy Edita Ab. Helsinki, 2000. 140 s.

MT-304-3 2007

MT-304-3. *Kierrätystekniikan moduulin opintomateriaali*. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu, materiaalitekniikanosasto. Espoo, 2007.

Mustonen 2008

Mustonen Esko. Stena Metalli Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 15.05.2008.

Narayanan 2000

Narayanan, V.K. *Managing Technology and Innovation for Competitive Advantage*. Prentice-Hall. 2000. 510 s.

Niemelä 2008

Niemelä Timo. FCG Planeko. Henkilökohtainen tiedonanto. 19.09.2008

Nijkerk & Dalmijn 2001

Nijkerk, A., Dalmijn, W. *Handbook of Recycling Techniques*. Nijerk Consultancy. Netherlands, 2001. 256 s.

Nikula 2004

Nikula, S. *Mechanical Treatment of Municipal Solid Waste*. Diplomityö. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. Espoo, 2004. 108 s.

Nissinen 2004

Nissinen, T. *Rakennuksen purkuprosessi*. Diplomityö. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. Espoo, 2004. 76 s.

Näsi & Aunola 2002

Näsi, J., Aunola, M. *Strategisen johtamisen teoria ja käytäntö*. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 2. uudistettu painos, 2002. 177 s.

Pajunen 1998

Pajunen, T. *Mekaanisen prosessitekniikan mahdollisuudet materiaalikierrätyksessä Suomessa*. Diplomityö. Helsingin Teknillinen korkeakoulu. Espoo, 1998. 120 s.

Paperinkeräys 2008

Paperinkeräys-yhtiöiden Internet-sivut. Paperinkeräys Oy. Helsinki. www.paperinkerays.fi. 01.10.2008

Pretz 2008

Pretz Thomas. RWTH Aachen. Henkilökohtainen tiedonanto. Aachen, 26.09.2008.

Pudas 2008

Pudas Jarmo. Akkuser Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Nivala, 26.05.2008.

Raiko et al. 1995

Raiko, R., Kurki- Suonio, L., Saastamoinen, J., Hupa, M. *Poltto ja palaminen*. IFRF-Suomen kansallinen osasto. Jyväskylä, 1995. 629 s.

Reuter et al. 2005

Reuter M.A., Heiskanen, K., Boin, U., Van Schaik, A., Verhoef, E., Yang, Y., Georgalli, G. *The Metrics of material and metal ecology*. Elsevier 2005. 703 s.

RIL-216 2001

RIL-216. *Rakenteiden elinkaaritekniikka*. Suomen rakennusinsinöörien liitto. Helsinki, 2001. 301 s.

Roberts & Berry 1985

Roberts, B., Berry, A. *Entering New Businesses: Selecting Strategies for Success*. Sloan management review. Vol. 26. 1985. 17 s.

ROHS-direktiivi 2008

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:FI:PDF>.

2002/95/EY. 01.09.2008.

Romuajoneuvodirektiivi 2008

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0053:FI:HTML>.

2000/53/EC. 01.09.2008.

Santavuori 2003

Santavuori, K. *Sähkö- ja elektroniikkaromun värimetallifraktion mekaaninen prosessointi*. Diplomityö. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. Espoo, 2003. 90 s.

Scheirs 1998

Scheirs, J. *Polymer Recycling*. Wiley & Sons. Australia, 1998. 591 s.

Schäfer et al. 2004

Schäfer, T., Van Looy, T., Weingart, A., Pretz, T. *Automatic Separation Devices in Mechanical Recycling Process*. 2004. 12 s.

Spets 2008

Spets Jouni. Stena Technoworld Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 16.07.2008.

Stewart 2008

Stewart Steve. Outotec Minerals Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Jacksonville, 01.09.2008

Syrjälä et al. 1994

Syrjälä, L., Ahonen, S., Syrjäläinen, E., Saari, S. *Laadullisen tutkimuksen työtapoja*. Helsinki, Kirjayhtymät Oy, 1994. 192 s.

Tohka & Lehto 2004

Tohka, A., Lehto, H. *Mechanical and thermal recycling of waste from electric and electrical equipment*. Ekokem. 2004. 69 s.

TU Delft 2004

TU Delft. *Solids Processing for Recycling and Waste Treatment*. Recycling Course Handbook. Netherlands, 2004.123 s.

Van Gerven et al. 2005

Van Gerven, T., Van Keer, E., Arickx, M., Wauters, G., Vandecasteele, C. *Carbonation of MSWI-bottom ash to decrease heavy metal leaching, in view of recycling*. Waste Management 25. 2005. 389 s.

Vattulainen 2008

Vattulainen Antero. Kuusakoski Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 17.06.2008.

Vikman 2008

Vikman Pekka. Metso Minerals Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 17.08.2008.

Waste Online 2008

Waste Online, <http://www.wasteonline.org.uk/>, 15.08.2008

WEEE-direktiivi 2008

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0024:0038:FI:PDF>.
2002/95/EC. 01.09.2008. 15 s.

Wills et al. 2006

Wills B.A, Napier-Munn T.J, *Minerals processing technology*, Elsevier, 2006, 408 s.

Zhang et al. 1999

Zhang, S., Forssberg, E., van Houwelingen, J., Rem, P., Wei, L-J. *End-of-life Electric and Electronic Equipment Management Towards the 21st Century*. Luleå University of Technology. Sweden, 1999. 13 s.

Österbacka 2008

Österbacka Jan. Ekokem-Palvelu Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. Espoo, 07.07.2008.

LIITE 1. Tuotteita ja metalliromun käsittelytapoja Suomessa.

Tuote	Romua synnyttävä toiminto					Romun käsittelytapa				
	Teollisuus	Maa- talous	Rakenta- minen	Energia- huolto	Yhdys- kunta	Lajittelu	Poltto- leikkaus	Hydraulinen leikkuri	Paalaus	Murskaus Muu
A1/SG ¹	*									
Eri A1/SG	*									
A6 PAK/SG	*								*	
A6	*					*				
A7 PAK/K	*								*	
Sorvilastu A4	*									* Bri ⁶
Valurauta no 6	*									* Bri
Tinapelti	*								*	
A1		*	*	*		*	*	*		
Eri A1/60	*		*				*	*		
A5		*	*			*				*
A5/PAK		*	*			*			*	
B1	*	*	*	*	*	*	*	*		
A7/K	*					*				
Nippulanka			*				*	*		
Valu 2A	*	*	*		*	*		*		*
CRK ²		*	*		*	*	*	*		
RST > 3mm ³	*	*	*		*	*	*	*		
RST ohutlevy	*	*	*		*	*			*	
RST lastut	*									* Bri
HK > 3mm ⁴	*	*	*			*	*	*		
HK ohutlevy	*	*	*			*			*	
HK lastut	*									* Bri
Kupari A1-A3 ⁵	*		*			*		*		
Kupari A4	*									
Kupari A5-A6	*		*			*		*		
Kupari B1-B2			*			*		*	*	
Messinki D1-D3	*					*				
Messinki D4-D7					*	*				
Messinki E1, E2, E4, E6			*		*	*		*		
Messinkilastut E3, E5, E7	*									* Bri
Alumiini, vanha			*		*	*		*	*	*
Alumiini, uusi	*		*			*		*	*	
Valualumini	*				*					*
Alumiinilastut	*									* Bri

¹ SG=pallografiittivalurauta (spheroidized graphite)

² CRK=Outokumpu Polarit Oy:n oma rautaromuluokka

³ RST=ruostumaton teräs

⁴ HK=haponkestävä teräs

⁵ Kupari A1-A6, Outokumpu Oy:n luokitus

⁶ Bri=briketöinti

LIITE 2. Tietoa eri SE-laitteista.

SE-laite	Keskimääräinen lukumäärä kotitaloudessa (kappaletta)	Laitteen paino (kg)	Tyypillinen ikä (vuosia)	Romun määrä 20 vuodessa (kg) (pyöristetty)	Romun osuus (%)
Pesukone	0,91	70	8	159	28,1
Kuivausrumpu	0,35	35	10	25	4,3
Astianpesukone	0,19	50	10	19	3,3
Jääkaapit ja pakastimet (yhteensä 3 enlaista yhdessä kotitaloudessa)	n. 0,45 (yksi laite)	35 (yksi laite)	10 (yksi laite)	99 (kolme laitetta)	17,5
Mikroaaltouuni	0,7	25	10	35	6,2
Liesi	0,57	60	15	46	8
Liesituuletin	0,3	5	20	2	0,3
Pölynimuri	0,98	8	10	16	2,8
Silitysrauta	1	1	10	2	0,4
Vedenkeitin	1	1	6	3	0,6
Leivänpaahdin	0,9	1	20	1	0,2
Yleiskone (ruualle)	0,8	1	10	2	0,3
Televisio	1,3	25	13	50	8,8
Videonauhuri	1	5	10	10	1,8
Hi-fi -systeemi	0,8	15	15	16	2,8
"Ghetto blaster"	0,5	3	5	6	1,1
Radio	1	1	15	1	0,2
Tietokone	0,3	30	5	36	6,3
Elektronisia pelejä	0,3	2	10	1	0,2
Hiustenkuivaaja	0,5	1	15	1	0,1
Puhelin	1	1	5	2	0,3
Sähköpatteri	0,3	5	20	4	0,7
Porakone	0,8	2	20	2	0,3
Moottorisaha	0,2	2	15	1	0,1
Muita korjaustyökaluja	0,2	2	10	1	0,1
Ruohonleikkuri	0,8	15	10	24	4,2
Muutpuutarhatyökalut	0,3	10	10	6	1,1

LIITE 3. SER:n jätemäärät Euroopassa vuonna 2007. (United Nations University)

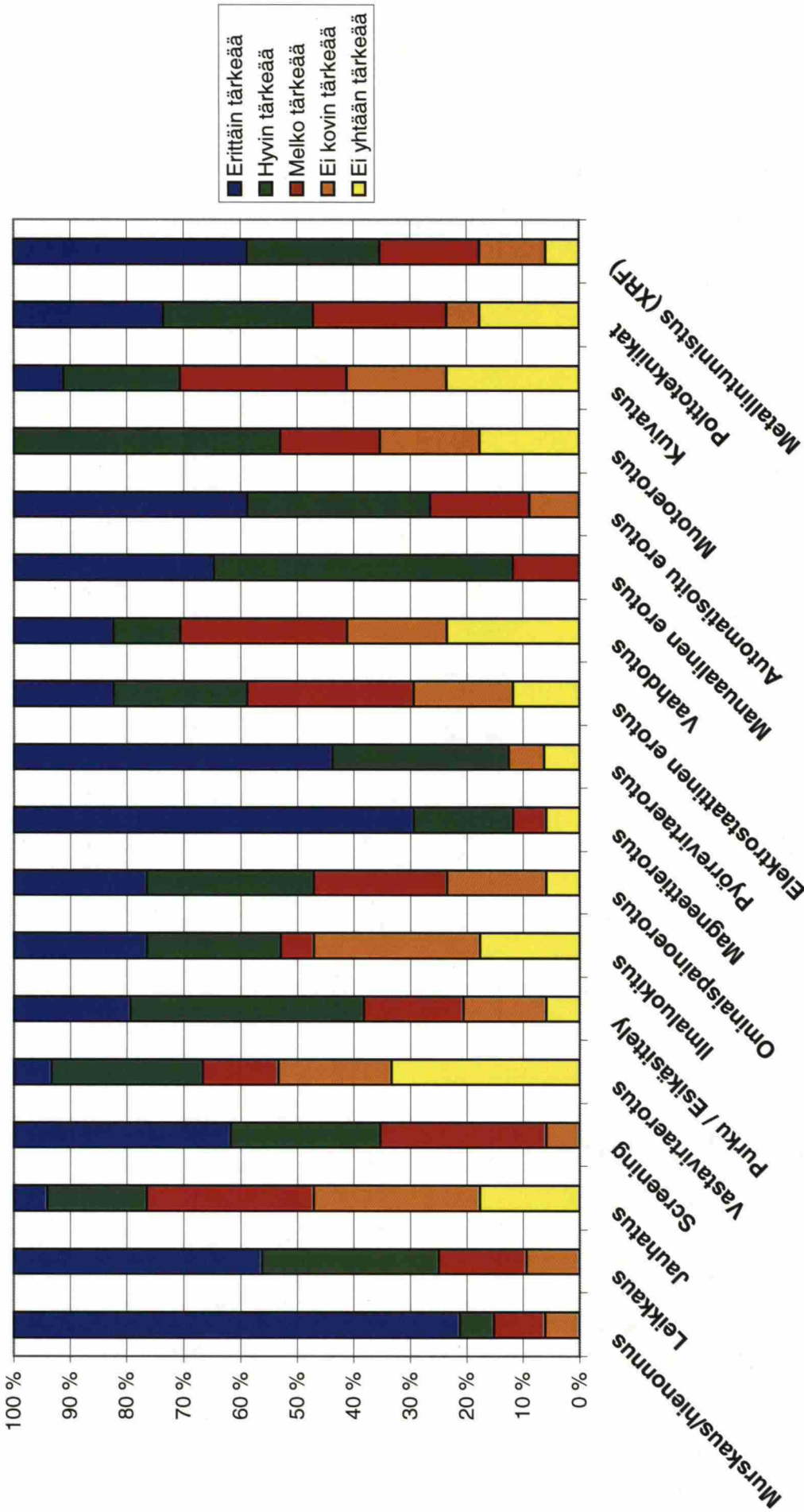
	WEEE (tonnes)	Estimated WEEE (tonnes)	Estimated WEEE (tonnes)
Country	Reported	Method 1	Method 2
Austria		152,504	176,499
Belgium		186,433	218,805
Cyprus		9,173	11,072
Czech Republic		113,573	139,587
Denmark	125,000	106,381	119,418
Estonia	9,000 to 13,000	12,833	16,886
Finland	84,000*	91,978	106,752
France	1,500,000	1,029,451	1,098,762
Germany	1,200,000	1,425,740	1,589,328
Greece		139,966	176,063
Hungary	115,000*	93,916	120,921
Ireland		95,667	92,985
Italy		970,612	995,124
Latvia		17,405	22,447
Lithuania	22,000	26,818	37,178
Luxembourg		14,353	10,551
Malta		4,566	5,726
Netherlands	114,000	282,707	323,258
Poland	321,300	290,233	392,931
Portugal		115,811	137,899
Slovakia		49,474	61,465
Slovenia		24,572	30,642
Spain		624,401	708,444
Sweden	215,000	152,670	158,441
UK	1,385,000*	1,034,090	1,122,867
Bulgaria	42,800	40,684	N/a
Romania		103,928	N/a
EU15	7,000,000	6,422,764	7,035,198
EU25		7,065,327	7,874,052
EU27		7,209,939	N/a

LIITE 4. Liiketoiminta-alueet ja niissä käytetyt kierrätysteknologiat.

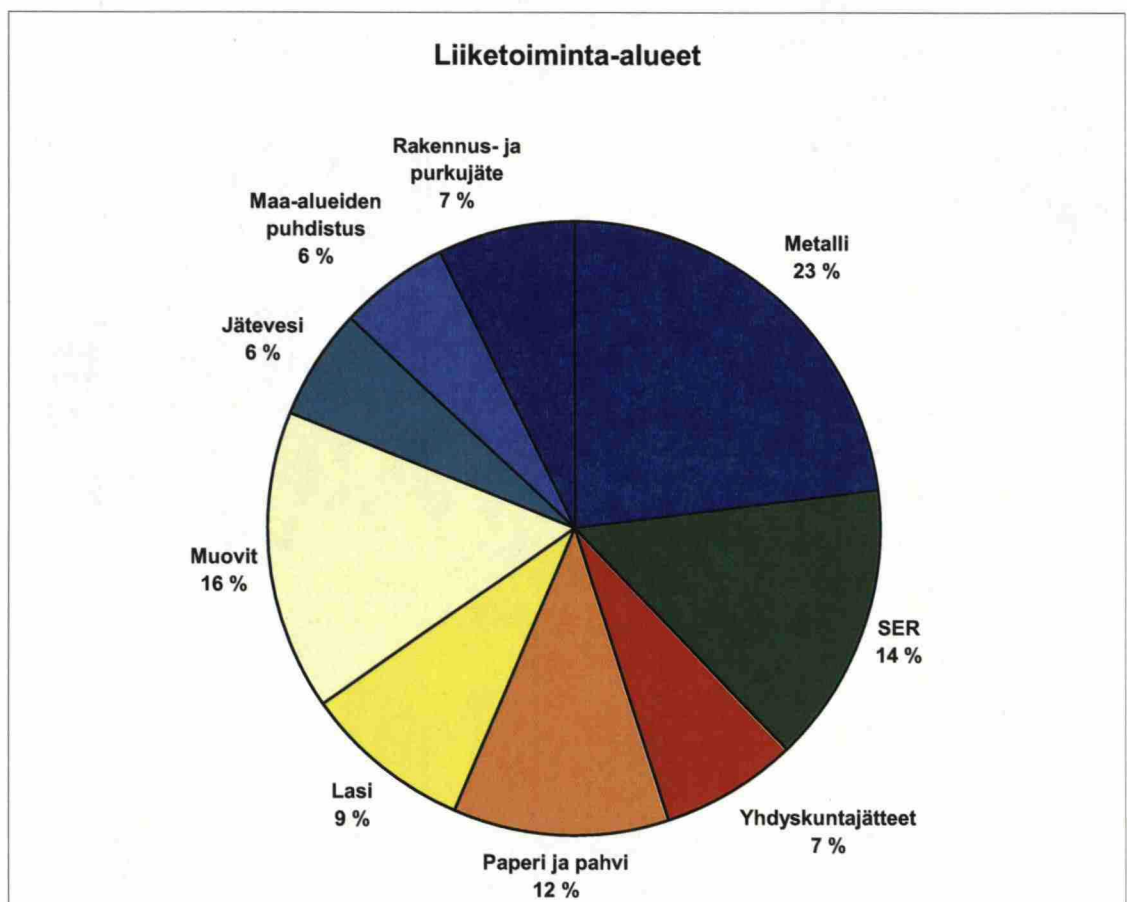
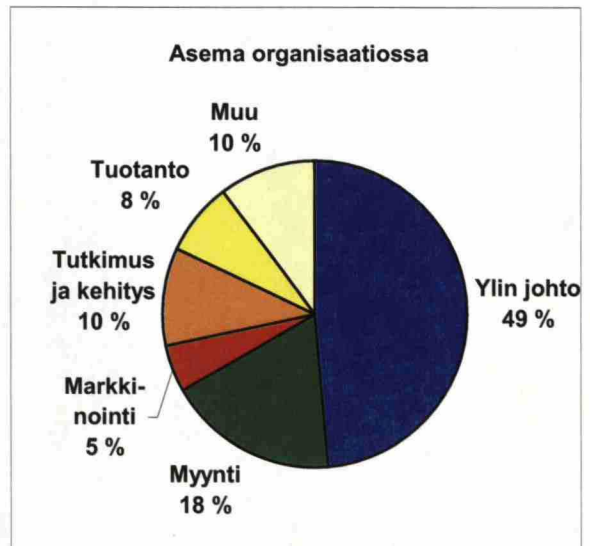
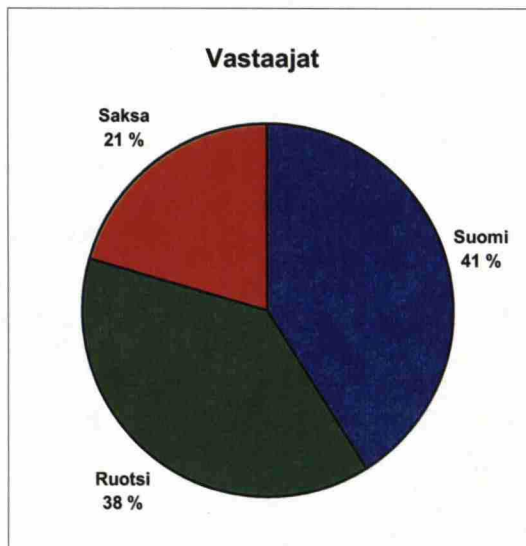
Liiketoiminta-alue		Esikäsittely	Hienonnus	Luokitus	Seulonta	Magneetti	Pyörrevirta	Elektrostaattiset	Ominaispaine	Vaahdotus	Poiminta	Rakennearal.	Biologiset menet.	Poltteknikat
Metalli	SER	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
		x	x	x	x	x	x				x		x	x
Yhdyskuntajäte	Rakennus- ja purkujäte		x	x	x	x	x		x		x		x	x
	Muovit		x	x	x			x	x	x	x	x		x
Lasi			x	x	x	x			x		x			
			x	x	x				x		x			
Maa-alueiden puhdistus			x	x	x	x	x		x	x				
	Kaapelin kierrätys		x	x	x	x	x	x			x			

LIITE 6. Markkinakyselyn vastauksia

Eri teknologioiden merkitys kierrätysliiketoiminnassa

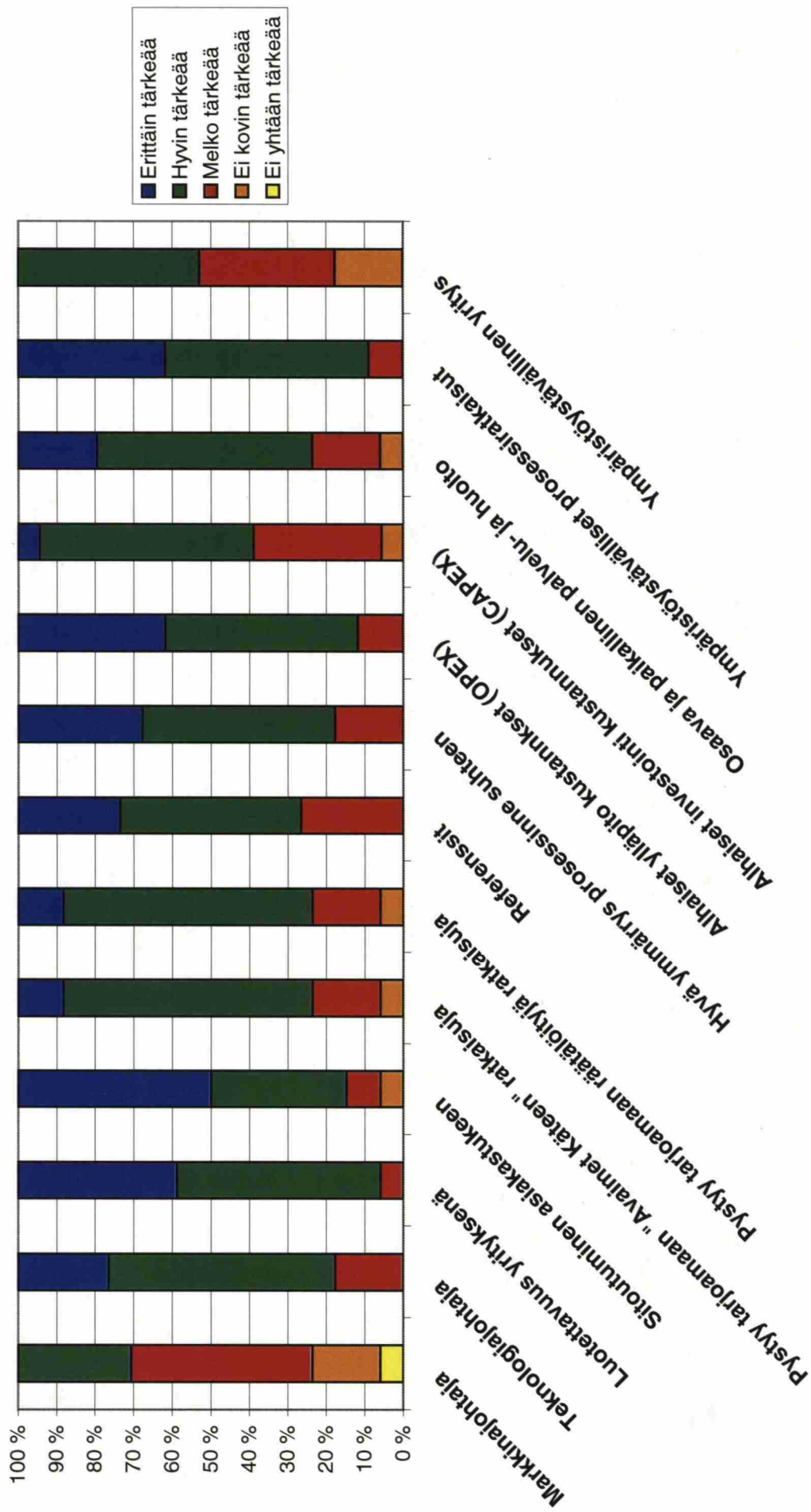


LIITE 5. Markkinakyselyn pohjatiedot.



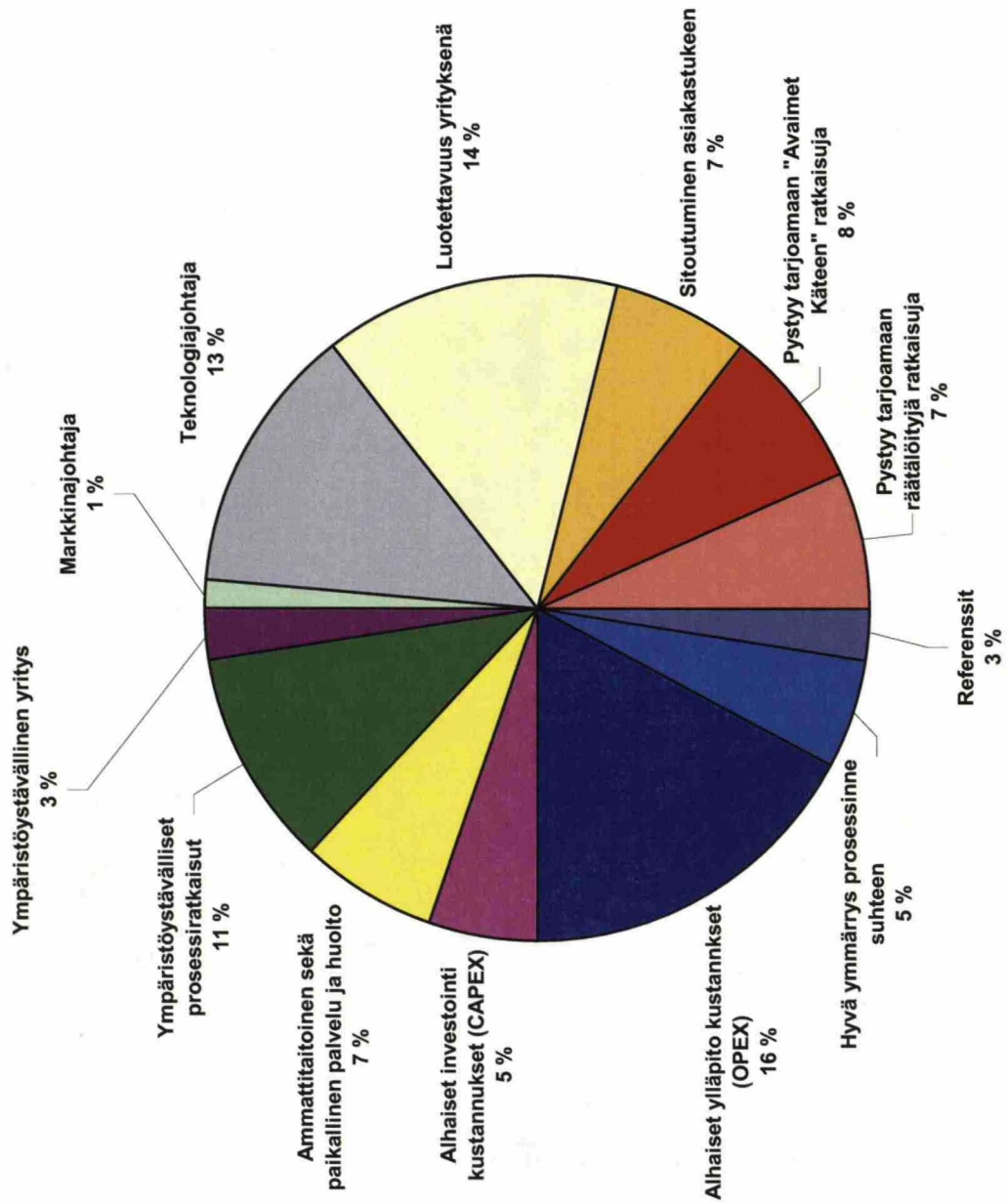
LIITE 7. Markkinakyselyn vastauksia

Teknologiatoimittajan valintaan vaikuttavat tekijät

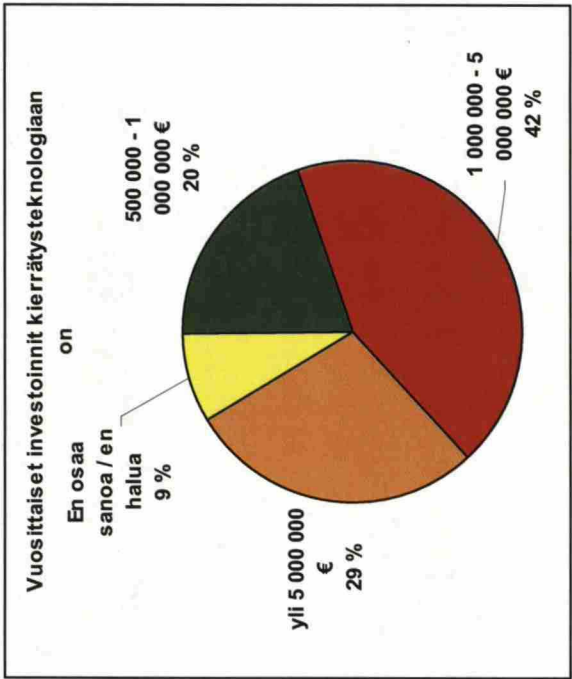
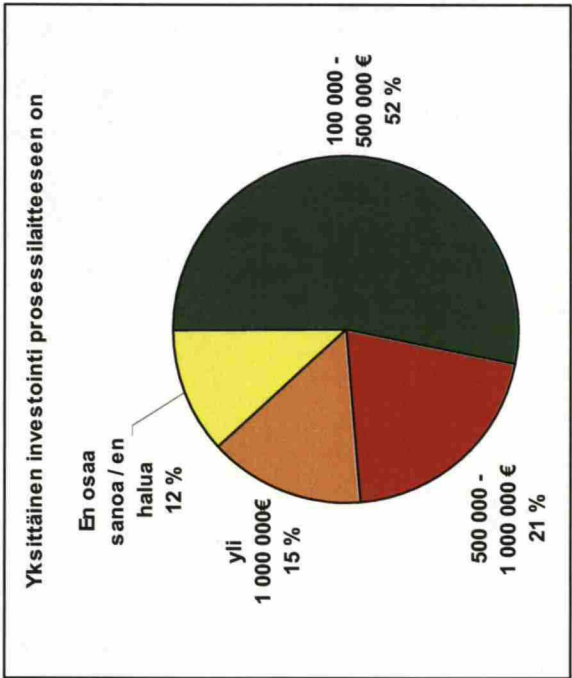
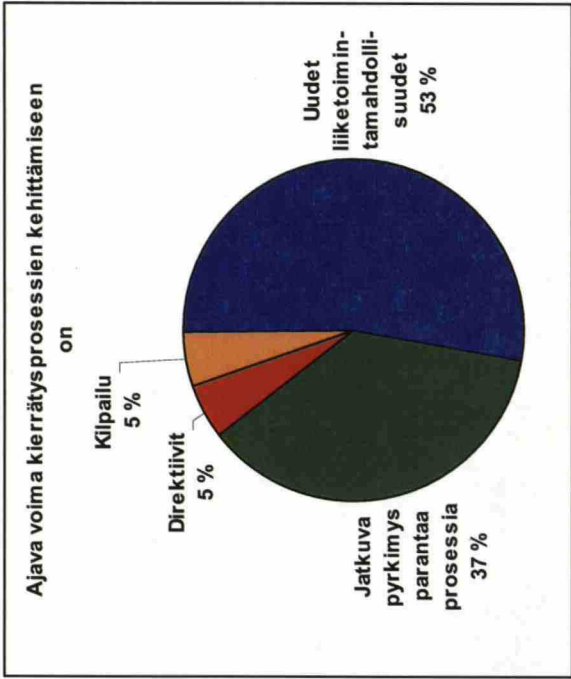
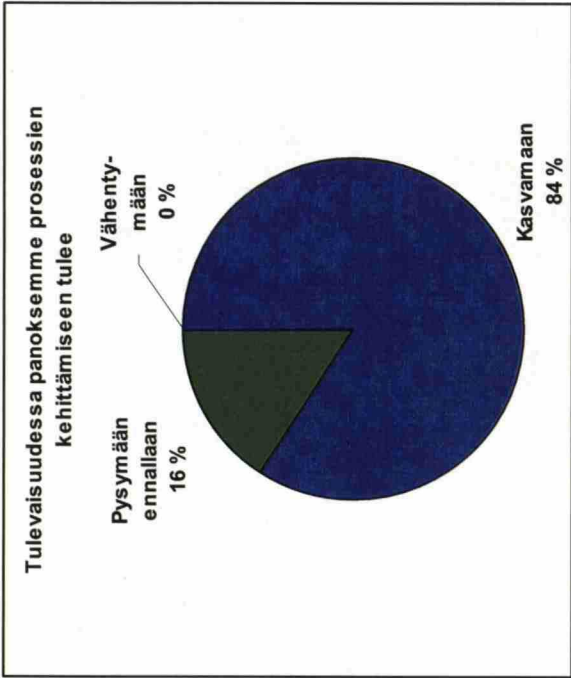


LIITE 8. Markkinakyselyn vastauksia.

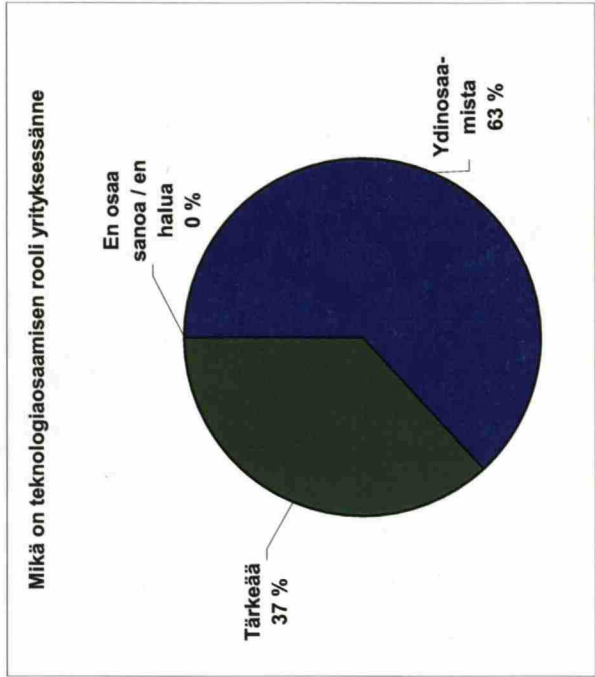
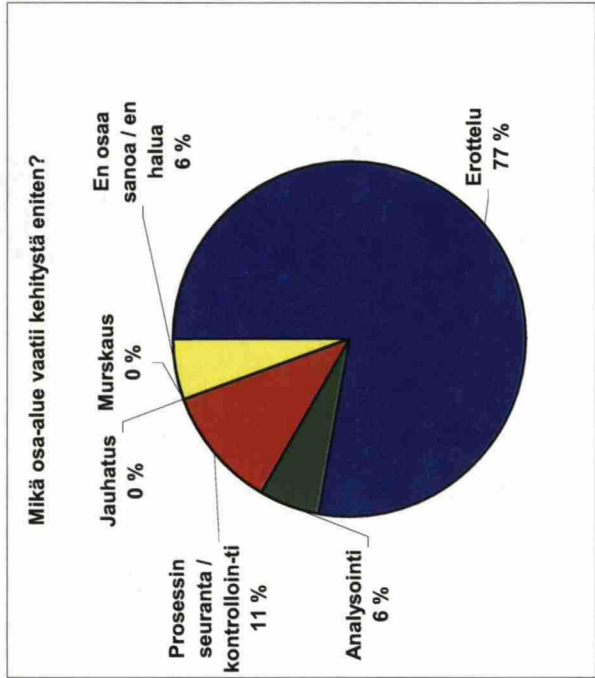
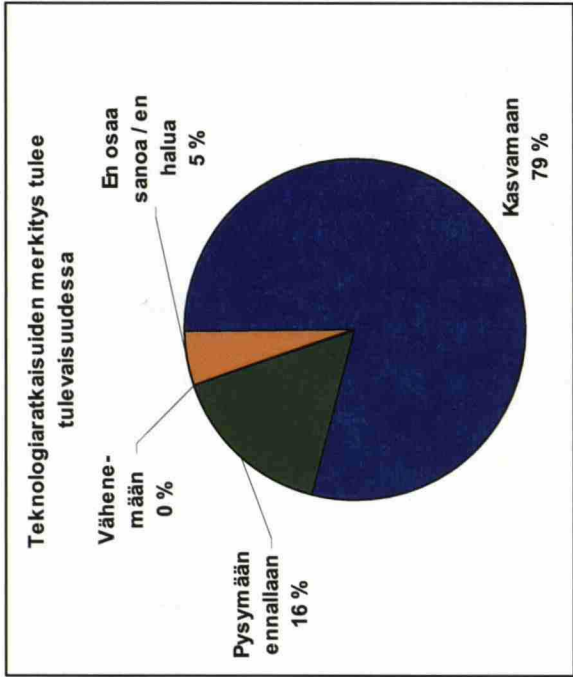
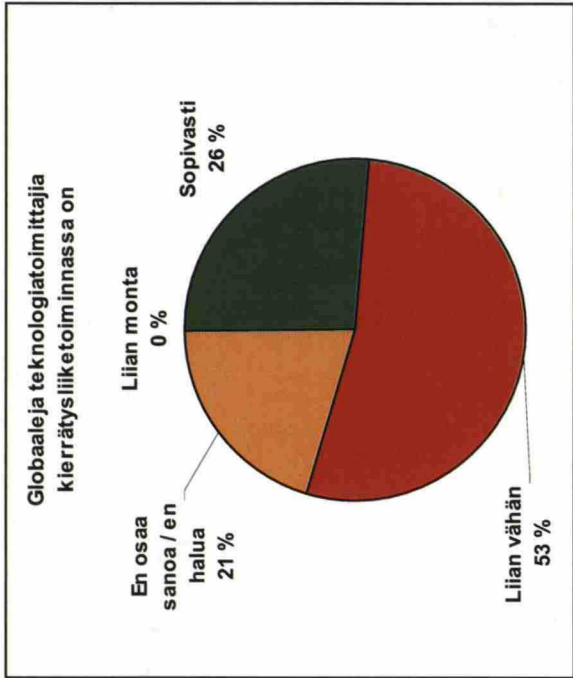
Mitkä edellisistä vaihtoehtoista tulevat olemaan yhä tärkeämpiä tulevaisuudessa?



LIITE 9. Markkinakyselyn vastauksia.

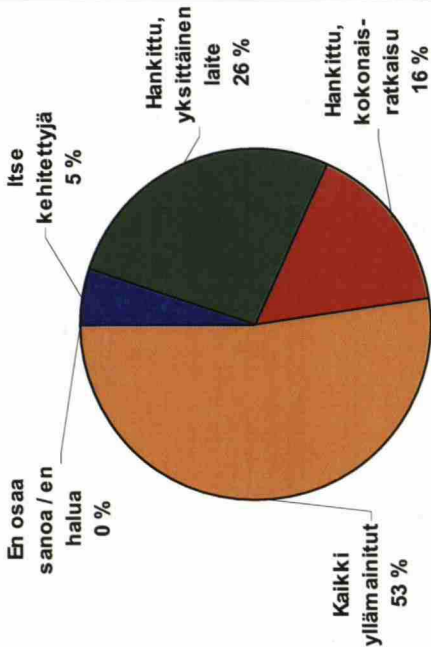


LIITE 10. Markkinakyselyn vastauksia.

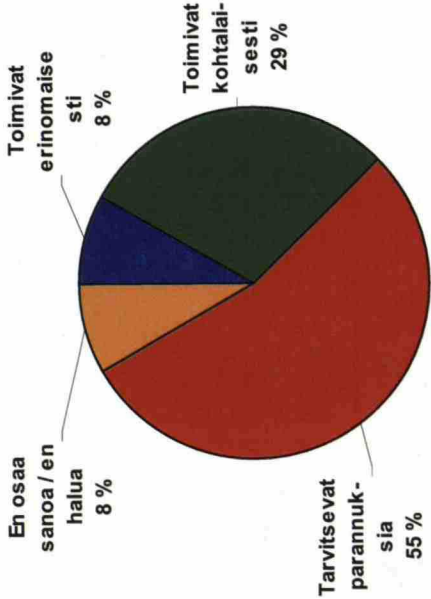


LIITE 11. Markkinakyselyn vastauksia.

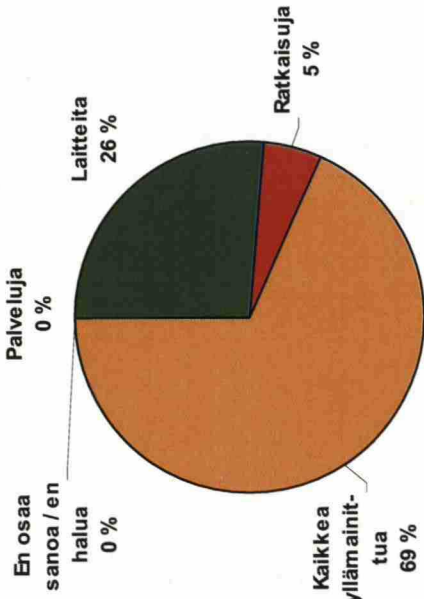
Käyttämänne kierrätysteknologiat ovat



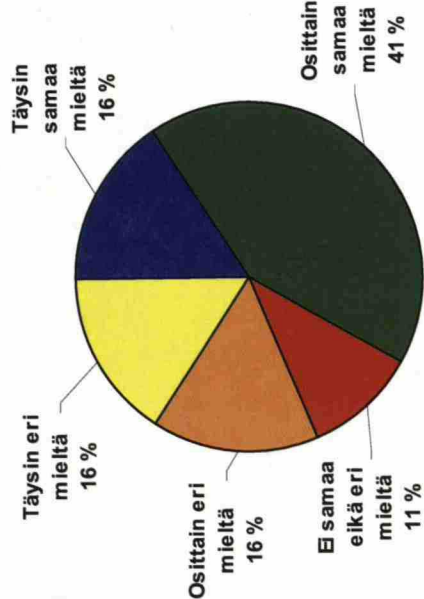
Käyttämänne prosessiratkaisut



Teknologiatoimittaja tarjoaa



Tulevaisuudessa tulee olemaan pulaa kierrätettävästä raaka-aineesta



LIITE 12. Markkinakyselyn vastauksia.

